



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **112447** (13) **C2**
(51) МПК (2016.01)

B05D 1/06 (2006.01)
B05D 3/02 (2006.01)
B05D 3/06 (2006.01)
B22F 3/115 (2006.01)
B22F 9/08 (2006.01)
C22C 19/03 (2006.01)
C23C 4/12 (2016.01)
B22D 23/00
B22D 30/00
B22D 35/02 (2006.01)
B05B 5/025 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

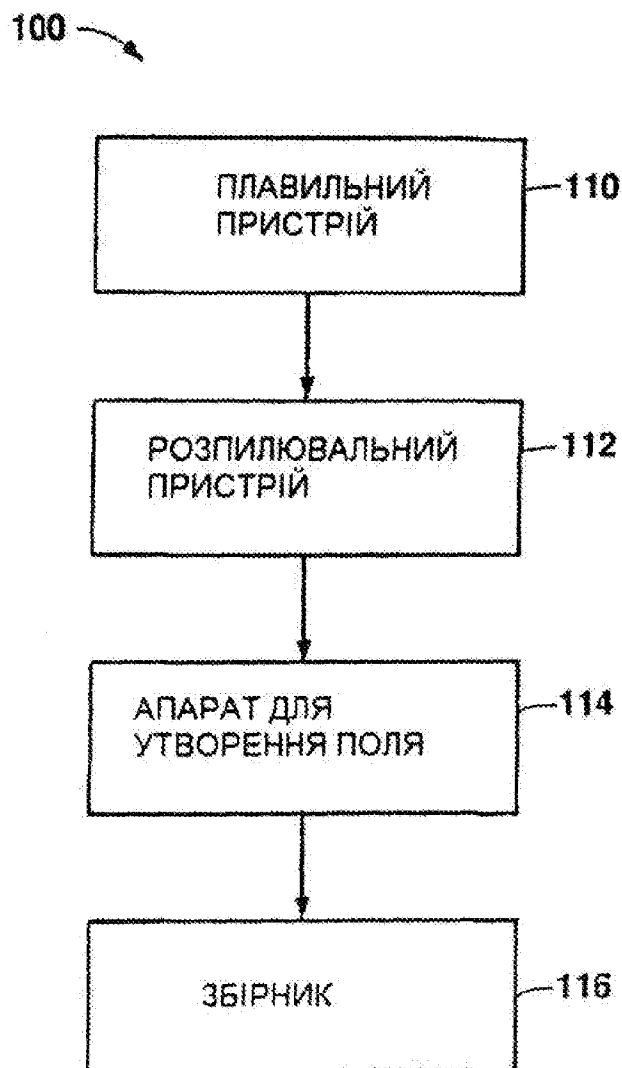
(21) Номер заявки: а 2014 02337	(72) Винахідник(и): Кеннеді Річард Л. (US), Форбс-Джонс Робін М. (US)
(22) Дата подання заявки: 16.07.2012	(73) Власник(и): ЕЙТІАЙ ПРОПЕРТІЗ, ІНК., 1600 N.E. Old Salem Road, Albany, Oregon 97321, United States of America (US)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 12.09.2016	(74) Представник: Мошинська Ніна Миколаївна, реєстр. №115
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 13/207,629	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 28547 A, 16.10.2000 US 2007062332 A1, 22.03.2007 US 5143139 A, 01.09.1992 US 2008223174 A1, 18.09.2008 US 2008179034 A1, 31.07.2008 A. Bhatia "Thermal Spraying Technology and Applications", Continuing Education and Development, Inc., 29.01.1999, p. 3 US 4264641 A, 28.04.1981 US 5381847 A, 17.01.1995 US 2004065171 A1, 08.04.2004 US 5176874 A, 05.01.1993 US 5992503 A, 30.11.1999
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 11.08.2011	
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: US	
(41) Публікація відомостей про заявку: 25.04.2014, Бюл.№ 8	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 12.09.2016, Бюл.№ 17	
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: PCT/US2012/046838, 16.07.2012	

(54) СПОСОБИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПРОДУКТІВ З РОЗПИЛЕНИХ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ**(57) Реферат:**

Способи для утворення продуктів з розпилених металів і сплавів. Отримується потік рідкого сплаву і/або ряду крапель рідкого сплаву. Рідкий сплав розпилюється з метою утворення електрично заряджених частинок рідкого сплаву бомбардуванням електронами потоку рідкого сплаву і/або ряду крапель рідкого сплаву. Електрично заряджені частинки рідкого сплаву розганяються щонайменше одним електричним полем, а також електромагнітним полем. Розігнані частинки рідкого сплаву охолоджуються до температури, нижче температури

UA 112447 C2

переходу до твердого стану частинок рідкого сплаву, так, що частинки рідкого сплаву тверднуть, поки розганяються. Частинки затверділого сплаву упресовуються в підкладку, де впресовані частинки деформуються і металургійно зчіплюються з підкладкою, утворюючи твердосплавну заготовку.



Фіг. 1

Галузь техніки

[0001] Цей винахід стосується плавки, розпилення, обробки металів і сплавів, а також отримання продуктів з металів і сплавів за допомогою розпилення металів і сплавів.

Рівень техніки

5 [0002] Метали і сплави, такі як, наприклад, залізо, нікель, титан, а також сплави на основі таких металів часто використовуються в різних галузях інженерно-технічного забезпечення, де дрібнозернисті мікроструктури, гомогенність, і/або речовини, які переважно не містять дефектів, є корисними або необхідними. Такі проблеми, як небажаний ріст зерен і розшарування в металі, відливках сплавів і злитках, можуть бути небажаними для кінцевого використання, а також

10 можуть істотно збільшити витрати, пов'язані з виробництвом сплавів високої якості. Традиційні способи одержання сплавів, такі як вакуумна індукційна плавка, електрошлаковий переплав, а також вакуумно-дуговий переплав можуть використовуватися для зменшення кількості домішок і забруднювачів у відливках сплавів. Однак, у різних випадках, традиційні способи отримання сплавів методом плавки і кування не можуть бути використані для отримання сплавів, що мають

15 дрібнозернисту гомогенну мікроструктуру і/або речовин, практично позбавлених дефектів, необхідних або потрібних для різноманітних інженерно-технічних застосувань, де такі характеристики є критично важливими.

[0003] Способи порошкової металургії можуть давати можливість отримання металів і сплавів, що містять дрібнозернисті мікроструктури які не можуть бути отримані за допомогою

20 способів отримання сплавів методом плавки і кування. Однак способи порошкової металургії є складнішими, порівняно зі способами отримання сплавів методом плавки і кування, а також можуть давати метали і сплави, які мають відносно високі рівні пор і пористості. Способи порошкової металургії також мають можливість вводити домішки і забруднювачі в продукти з металів і сплавів під час виробництва, обробки, а також переробки порошкової сировини, яка

25 використовується для отримання продуктів.

Короткий опис винаходу

У необмежуючому варіанті реалізації винаходу спосіб, відповідно до даного винаходу включає виробництво, щонайменше, одного потоку рідкого сплаву, а також ряду крапель рідкого

30 сплаву. Електрично заряджені частинки рідкого сплаву отримують бомбардуванням електронами щонайменше, одного потоку рідкого сплаву і ряду крапель рідкого сплаву з метою розпилення рідкого сплаву. Частинки електрично зарядженого рідкого сплаву прискорюються за допомогою, щонайменше, одного з діючих полів: електростатичного або електромагнітного. Частинки рідкого сплаву охолоджуються до температури, нижче температури переходу в твердий стан частинок рідкого сплаву, так що частинки рідкого сплаву тверднуть під час

35 прискорення. Тверді частинки сплаву впресовуються в підкладку, де впресовані частинки деформуються і металургійно зчіплюються з підкладкою для отримання твердої заготовки сплаву

[0005] Мається на увазі, що технічне рішення, розкрите і викладене в цьому описі, не обмежується варіантами реалізації, представленими в ньому.

Короткий опис креслень

[0006] Різноманітні властивості і характеристики необмежуваних і невичерпних модифікацій, розкриті і відображені в цьому описі винаходу, можуть бути краще зрозумілими завдяки посиланням на супровідні фігури, у яких:

[0007] Фіг. 1 схематично ілюструє систему виробництва сплаву;

45 [0008] Фіг. 2 є принциповою схемою розпилювального пристрою, у якому в основному потік електронів прямокутної форми отримують у потоці рідкого сплаву, що проходить через розпилювальний пристрій;

[0009] Фіг. 3 є принциповою схемою розпилювального пристрою, у якому скануючий пристрій дає потік електронів у потоці рідкого сплаву, що проходить через розпилювальний пристрій;

50 [00] Фіг. 4 є принциповою схемою розпилювального пристрою, у якому електрони використовуються для отримання потоку електронів у потоці рідкого сплаву, що проходить через розпилювальний пристрій, отримують із зовнішньої поверхні частинки;

[0011] Фіг. 5 є принциповою схемою розпилення крапель рідкого сплаву у розпилювальному пристрої з електронним пучком;

55 [0012] Фіг. 6, 7, 7A, 8, 8A, 9, і 9A є принциповими схемами систем пристрою, скомпонованих для отримання заготовки сплаву за допомогою способу утворення твердих дрібних частинок;

[0013] Фіг. -13 є принциповими схемами плавильних пристроїв, за допомогою яких отримують рідкий сплав;

60 [0014] Фіг. 14-17 і 17 A є принциповими схемами систем і пристрою, скомпонованих для отримання заготовки сплаву за допомогою способу утворення твердих дрібних частинок;

[0015] Фіг. 18 є блок-схемою способу утворення твердих дрібних частинок;

[0016] Фіг. 19A-19F є принциповими схемами, які разом зображають систему утворення твердих дрібних частинок, що здійснює спосіб утворення твердих дрібних частинок;

5 [0017] Фіг. є принциповою схемою різних складових плазмового емітера, що випромінює іони;

[0018] Фіг. 21 є принциповою схемою електронно-променевого плавильного пристрою з охолоджуваним черенем печі, що включає множинні випромінюючі іони плазмові емітери;

[0019] Фіг. 22 схематично ілюструє різні складові частини дротяного розрядника іонно-плазмового випромінювача; 5

10 [0020] Фіг. 23 схематично ілюструє пристрій електронно-променевої плавки, що містить дротяний розрядник іонно-плазмового випромінювача;

[0021] Фіг. 24 ілюструє в перспективі плазмовий емітер, що випромінює іони;

[0022] Фіг. є принциповою схемою, що ілюструє роботу плазмового емітера, що випромінює іони, зображеного на Фіг. 24; і

15 [0023] Фіг. 26 є принциповою схемою електронно-променевого плавильного пристрою з охолоджуваним черенем печі, що включає множинні плазмові емітери, що випромінюють іони.

[0024] Читач оцінить вищезазначені деталі, як і всі інші, зважаючи на докладний опис різних необмежуваних і невичерпних модифікацій відповідно до цього винаходу.

Докладний опис винаходу

20 [0025] Різні варіанти реалізації викладені і проілюстровані в даному описі винаходу з метою забезпечення загального розуміння структури, призначення, роботи, виробництва, а також використання розкритого у винаході способу і продуктів. Мається на увазі, що різні модифікації, відображені і проілюстровані в цьому описі винаходу, є необмежуваними і невичерпними. Таким чином, винахід не обмежений описом різних необмежуваних і невичерпних варіантів реалізації, розкритих у даному описі винаходу. Навпаки, винахід визначається тільки формулою. Ознаки і характеристики, проілюстровані і/або відображені в зв'язку з різними модифікаціями, можуть поєднуватися з властивостями і характеристиками інших модифікацій. Подібні модифікації і варіації передбачені для включення в обсяг опису даного винаходу. По суті, формула винаходу може бути виправлена з метою перерахування будь-яких властивостей або характеристик

30 описаних певним чином або по суті, або таких, що підтримуються певним чином або по суті в цьому описі винаходу. Додатково, Заявник залишає за собою право вносити зміни у формулу з метою однозначної відмови від претензій на ознаки або характеристики, які могли бути відомі з попереднього рівня техніки. Таким чином, будь-які подібні поправки відповідають вимогам 35 USC § 112, перший абзац, і 35 USC § 132 (а). Різні модифікації, розкриті і відображені в даному описі винаходу можуть включати в себе, складатися з або складатися по суті з властивостей і характеристик, як по-різному описано в цьому 5 винаході.

[0026] Будь-які патенти, публікація, або інший розкриваючий матеріал, зазначені у цьому винаході, включені у вигляді посилання в повному обсязі, якщо інше не зазначено, однак, тільки в тій їх частині, що не суперечить існуючим визначенням, твердженням або іншим розкриваючим матеріалам, що прямо впливають з даного опису винаходу. По суті, і в необхідній мірі, точне розкриття, як викладено в цьому описі винаходу, замінює собою будь-який суперечний матеріал, включений у вигляді посилання до цього винаходу. Будь-який матеріал або його частина, які необхідно включити у вигляді посилання до цього опису винаходу, але який суперечить визначенням, твердженням, або іншим розкриваючим матеріалам, викладеним у цьому винаході, включається тільки в тій його частині, яка не призводить до виникнення конфлікту між таким включеним матеріалом і існуючим розкриваючим матеріалом. Заявник залишає за собою право вносити поправки до даного опису винаходу з метою точно викладати будь-який пункт винаходу або його частин, включених у якості посилання до цього винаходу.

[0027] Посилання по всьому тексту цього опису на різні необмежувачі варіанти реалізації винаходу або тому подібне, означають, що певні ознаки або характеристика можуть бути включені у варіант реалізації. Таким чином, використання виразу "у різних необмежуваних варіантах реалізації" або тому подібне, у цьому описі винаходу не обов'язково стосується загального варіанту реалізації винаходу, і може стосуватися різних варіантів реалізації винаходу. Додатково, окремі ознаки або характеристики можуть поєднуватися будь-яким прийнятним способом в одній або більше його модифікаціях. Таким чином, окремі властивості або характеристики, проілюстровані або описані у зв'язку з різними модифікаціями, можуть поєднуватися повністю або частково, з властивостями або характеристиками однієї або більше модифікацій без обмеження. Подібні зміни і варіації передбачені для включення в обсяг опису даного винаходу.

[0028] У даному описі винаходу, крім тих місць, де зазначено інше, усі числові параметри повинні розумітися, як попередньо визначені і змінені у всіх випадках за допомогою терміну "близько", у якому числові параметри мають властиві їм характеристики мінливості, що лежать в основі методів вимірювання, які використовуються для визначення числового значення параметру. Щонайменше, і не як спроба обмежити застосування теорії еквівалентів до області формули винаходу, кожен числовий параметр, відображений у цьому описі, повинен, щонайменше, бути розтлумаченим з точки зору кількості зазначених значущих цифр, а також за допомогою стандартних прийомів округлення.

[0029] При цьому, передбачено, що будь-який числовий ряд, згаданий у цьому описі винаходу, включає в себе всі підряди з однаковою числовою точністю в межах згаданого ряду. Наприклад, ряд "від 1,0 до, 0" включатиме всі підряди між зазначеним мінімальним значенням 1,0 і зазначеним максимальним значенням, 0, якими є під-ряди, що мають мінімальне значення, більше або рівне 1,0 і максимальне значення, менше або рівне, 0, такий як, наприклад, від 2,4 до 7,6. Будь-яке максимальне числове обмеження, згадане в цьому описі винаходу, включатиме всі нижчі числові обмеження, віднесені до цього винаходу, а також будь-яке мінімальне числове обмеження, згадане в цьому описі винаходу, включатиме всі вищі числові обмеження, віднесені до даного винаходу. Відповідно, Заявник залишає за собою право вносити поправки у цей опис винаходу, включаючи формулу винаходу, точно вказувати будь-який підряд, віднесений до ряду, точно зазначеному в цьому винаході. Мається намір, по суті, відобразити усі такі ряди в цьому описі винаходу так, щоб вносячи поправки точно згадувати будь-який такий підряд, що відповідає вимогам 35 USC § 112, перший абзац, і 35 USC § 132 (a).

[0030] Граматичні визначення "один", "будь-який", і "цей", у якості використовуваних в цьому описі винаходу, будуть включати "щонайменше один" або "один або більше", якщо не вказано іншого. Таким чином, визначення використовуються в цьому описі винаходу, щоб посилатися на один або більше, ніж один з наведених граматичних прикладів. Як приклад, "будь-який компонент" означає один або більше компонентів, і, таким чином, можливо, більше, ніж один компонент розглядається і може застосовуватися або використовуватися під час реалізації описаних модифікацій. Додатково, використання іменника в однині включає використання множини, а використання іменника у множині включає використання однини, за винятком випадків, коли контекст використання вимагає іншого.

[0031] У різних критично важливих прикладних задачах, компоненти необхідно виготовляти зі сплавів, таких як, наприклад, суперсплави на основі нікелю, у формі злитків великого діаметру, що не мають значної усадки металу. У таких злитках значною мірою повинна бути відсутня пряма і непряма ліквідація. Типовим виявом прямої ліквідації є "чорні точки", видимі металографічно, як темні витравлені області, що містять більше розчинених елементів. Чорні точки з'являються через потік багатой розчинними речовинами міждендритової рідини у м'якій зоні розплавленого злитка під час твердіння. Чорні точки, наприклад, у сплаві 718 містять більше ніобію, порівняно з усією матрицею сплаву, мають високу густину, і, як правило, містять фазу Лавеса. По суті, чорні точки є надзвичайно небажаними у сплавах, які використовуються в критично важливих прикладних задачах.

[0032] "Білі плями" є типовим прикладом непрямої ліквідації. Білі плями видимі металографічно як світлі витравлені області з низьким вмістом розчинних елементів, таких, як ніобій у зміцнюючому агенті. Білі плями, як правило, діляться на дендритні, дискретні, а також білі плями твердіння. Оскільки існують певні допуски для дендритних плям і білих плям твердіння, дискретні білі плями є основною проблемою, оскільки вони часто пов'язані зі скупченням оксидів і нітридів, які можуть діяти як місця ініціювання тріщин у виробках з ливарних сплавів.

[0033] Злитки і заготовки, що значною мірою не містять прямої і непрямої ліквідації, а також не мають чорних точок, можуть бути віднесені до злитків і заготовок "преміум якості". Злитки і заготовки преміум якості з суперсплаву на основі нікелю необхідні у різних критично важливих прикладних задачах, що включають, наприклад, обертові компоненти авіаційних турбін або турбін наземних електростанцій, а також для інших прикладних задач, у яких, пов'язані з усадкою металу металургійні дефекти, можуть призвести до відмови компонента під час роботи з катастрофічними наслідками. Як зазначено в цьому винаході, злиток або заготовка "не містять значною мірою" прямої і непрямої ліквідації, якщо такі типи усадки металу повністю відсутні або присутні в такому обсязі, що не роблять злиток або заготовку непридатними для використання в критично важливих прикладних задачах, таких як використання для виробництва обертових компонентів авіаційних турбін або турбін наземних електростанцій.

[0034] Суперсплави на основі нікелю піддаються значній прямій і непрямої ліквідації під час відливання, включаючи, наприклад, сплав 718 (UNS 07718) і сплав 706 (UNS 09706). Для того,

щоб звести до мінімуму усадку металу під час відливання зазначених 5 сплавів для їх використання в критично важливих прикладних задачах, а також щоб переконатись, що ливарний сплав не містить шкідливих неметалічних включень, рідкий металевий матеріал відповідним чином рафінують перед заключним відливанням. Способом рафінування сплаву 718, а також різних інших схильних до усадки металу суперсплавів на основі нікелю, таких як сплав 706, є спосіб "потрійної плавки", який поєднує, послідовно, вакуумно-індукційну плавку (ВІП), електрошлакове рафінування/переплавку (ЕШП), а також вакуумно-дуговий переплав (ВДП). Однак злитки преміум якості великого діаметру зазначених схильних до усадки металу матеріалів важко отримати за допомогою ВДП-плавки, останньої стадії у послідовності потрійної плавки. У деяких випадках, злитки великого діаметру збираються з окремих компонентів, у яких зони неприпустимої усадки металу у злитках ВДП-виливки не можуть бути вибірково видалені перед відливанням компонента. Отже, весь злиток або частину злитка потрібно буде перетворити на брухт.

[0035] Зростає потреба у злитках сплаву 718, сплаву 706, а також інших суперсплавів на основі нікелю, таких як сплав 600 (UNS 06600), сплав 6 (UNS 066), сплав 7, і Waspalloy® (UNS 07001), більшої маси і відповідно більших діаметрів для вирішення різних прикладних задач, що виникають. Такі прикладні задачі включають, наприклад, обертові компоненти великих наземних і авіаційних турбін. Злитки більшого розміру необхідні не тільки для досягнення кінцевої ваги компонента економічним способом, але і для полегшення необхідної термомеханічної обробки з метою необхідного розщеплення структури злитка і досягнення всіх кінцевих механічних і структурних вимог.

[0036] Плавка і вилівок злитків суперсплаву великого діаметру виділяє ряд основних металургійних питань, а також питань, що стосуються обробки. Наприклад, відведення тепла під час твердіння розплаву ускладнюється із збільшенням діаметру злитка, що призводить до більш тривалого часу твердіння і утворення глибших рідких виїмок. Це призводить до збільшення імовірності прямої і непрямої ліквідації. Також, злитки більшого розміру і електроди ЕШП/ВДП можуть створювати вищу термічну напругу під час нагрівання та охолодження. Сплав 718 є особливо схильним до появи зазначених проблем. Щоб мати можливість отримувати злитки ВДП великого діаметру прийнятної металургійної якості зі сплаву 718, а також з різних інших схильних до усадки металу суперсплавів на основі нікелю, необхідно розробити спеціалізовані послідовності плавки і 5 термічної обробки. Однією з таких спеціалізованих послідовностей плавки і термічної обробки є описана в Патенті США № 6416564, яка включена у якості посилання в цей опис винаходу.

[0037] Незважаючи на те, що способи порошкової металургії можуть використовуватися для отримання продуктів на основі сплавів преміум якості, таких як злитки великого діаметру з суперсплаву на основі нікелю. Утворення дрібних крапель є одним зі способів порошкової металургії, за допомогою яких одержують злитки суперсплаву великого діаметру. Під час утворення дрібних крапель, потік рідкого сплаву розпилюється з метою утворення дрібних бризок крапель або частинок очищеного рідкого сплаву. Далі частинки розплаву направляються у збірник, де вони зливаються і тверднуть у формі зв'язаної заготовки з майже однаковою густиною. У різних прикладних задачах, контрольований рух збірника і розпилювача, а також контроль процесу транспорту рідкого металу, дозволяє отримати заготовки великого розміру високої якості. Процес утворення дрібних крапель дозволяє отримувати дрібнозернисті гомогенні мікроструктури з рівноосними зернами і більш ніж 98 відсотками від теоретичної густини для широкого спектру сплавів. Однак у традиційному способі утворення дрібних крапель, як правило, використовується розпилення з використанням зіткнення потоків рідин, яке володіє рядом недоліків.

[0038] Під час розпилення з використанням зіткнення потоків рідин, газ або рідина бомбардується потоком рідкого металевого матеріалу. Бомбардування з використанням рідин або газів може вводити забруднювачі в розпилений матеріал. Відомо, що бомбардування рідин не протікає в умовах вакууму, навіть способи бомбардування з використанням інертних газів можуть вводити значну кількість домішок у розпилений матеріал. Розроблено різні способи розпилення без зіткнення рідин, які можуть проводитися в умовах вакууму. Такі способи включають, наприклад, способи розпилення, описані в Патенті США № 6772961 (посилання зазначене в цьому описі винаходу як "US-6,722,961"), який таким чином включений посиланням в цей опис винаходу.

[0039] US-6722961 описує способи, у яких краплі рідкого сплаву або потік рідкого сплаву, отримані за допомогою плавильного пристрою, спареного з регульованим дозувальним пристроєм, швидко заряджаються електростатично за допомогою 5 прикладання високої напруги до крапель за високої швидкості росту. Електростатичні сили, що встановилися в

заряджених краплях, викликають розрив крапель або розпилення на вторинні частинки меншого розміру. В одному із способів, описаному в US-6722961, первинні рідкі краплі, отримані за допомогою форсунки дозувального пристрою, обробляються електричним полем електрода у формі кільця, що прилягає до нижньої частини потоку форсунки. Електростатичні сили, що

5 утворилися в первинних краплях, перевищують сили поверхневого натягу частинки і призводять до утворення вторинних частинок меншого розміру. Додаткові електроди у формі кільця, які дають електричне поле, можуть встановлюватися в нижній частині потоку з метою обробки вторинних частинок тим же способом, отримуючи частинки розплаву ще меншого розміру.

[0040] Розпилення електронним пучком є ще одним способом розпилення без зіткнення рідин з метою утворення крапель розплавленого матеріалу, який проводиться в умовах вакууму. У цілому, спосіб включає застосування електронного променя для впорскування заряду в область потоку рідкого сплаву і/або ряду крапель рідкого сплаву. Як тільки область або крапля накопичить достатній заряд, що перевищує Релєєвську межу, область або крапля стає нестійкою і розривається на дрібні частинки (тобто розпилюється). Спосіб розпилення електронним пучком описаний в патентах США № 6772961; 7578960; 7803212; а також 7803211; які таким чином включені посиланнями в цей опис винаходу.

[0041] US-6722961 також розкриває способи, які використовують електростатичне і/або електромагнітне поля для контролю прискорення, швидкості та/або напрямку руху частинок рідкого сплаву, утворених розпиленням в процесі отримання заготовок у вигляді дрібних крапель або порошків. Як описано в US-6722961, такі способи забезпечують істотний контроль в нижній частині потоку розпиленого розплавленого матеріалу і можуть знизити надлишкове напilenня, а також інші втрати матеріалу, поліпшити якість, а також підвищити густину твердої заготовки, отриманої за допомогою способів утворення дрібних крапель.

[0042] Способи збору розпилених розплавлених матеріалів у вигляді одиничних заготовок включають утворення дрібних крапель і виливок для утворення зародків. Стосовно виливки для створення зародків, спеціальне посилання на неї вказана у 5 патенті США № 5381847; 6264717; а також 6496529, які таким чином включені посиланнями в цей опис винаходу. У цілому, виливок для утворення зародків включає розпилення потоку рідкого сплаву, а потім спрямовування утворених частинок рідкого сплаву в ливарну форму, що має задану конфігурацію. Краплі зливаються і тверднуть як одиничний виріб, сконфігурований за допомогою форми, а розплав може додатково оброблятися у заданий виріб. У цілому, утворення дрібних крапель містить спрямовування розпиленого розплавленого матеріалу на поверхню, наприклад, пластини або циліндра для зливання, затвердіння, а також утворення вільно стоячої заготовки, яка може додатково оброблятися у заданий виріб.

[0043] Як зазначено вище, більшість способів плавки, розпилення, а також обробки металів і сплавів з метою отримання твердих заготовок є недосконалими в одному або більше відношеннях. Такі недосконалості включають, наприклад, складність процесу і його вартість; існування високих залишкових напруг, порожнини, пористість, оксиди та інші забруднювачі у заготовці; втрати у виході продукції внаслідок надлишкового напilenня; обмеження щодо застосовуваних металів і сплавів; а також обмеження щодо необхідного розміру. Такі недосконалості є особливо проблематичними під час виробництва різних сплавів, таких як суперсплави на основі нікелю. Різні необмежуючі модифікації, розкриті і відображені в цьому описі винаходу, спрямовані, частково, на способи, системи, а також пристрої, які дозволяють подолати, щонайменше, деякі із зазначених недосконалостей, серед іншого, і надати покращені способи виробництва продуктів з металів і сплавів, таких як, наприклад, злитки великого діаметру та інші заготовки преміум якості.

[0044] Різні необмежуючі модифікації, розкриті і відображені в цьому описі винаходу, спрямовані, частково, на способи, системи, а також пристрій плавки і розпилення металів і металевих (тобто таких, що містять метал) сплавів з метою отримання розпилених розплавлених матеріалів, які можуть бути, щонайменше, частково затверділими у сплав частинками, використовуваними для отримання одиничних і монолітних заготовок сплавів та інших виробів. У якості використаного в цьому винаході, термін "сплав" стосується як металів, так і металевих сплавів - таких як, наприклад, залізо, нікель, титан, кобальт, а також сплавів на основі таких металів.

[0045] Різні необмежуючі модифікації, розкриті в цьому винаході, можуть використовувати обладнання і способи, у яких застосовуються електрони для утворення сплавів і/або розпилення рідких сплавів з метою отримання частинок рідкого сплаву, що затверділи і утворили тверді бризки для утворення одиничної і монолітної заготовки, а також інших виробів із сплавів. У різних необмежуючих модифікаціях, способи, системи, а також пристрій, розкриті в цьому винаході, можуть застосовуватися у виробництві заготовок і виробів з суперсплаву на

основі нікелю, де способи плавки і кування, потрібна плавка, а також способи порошкової металургії мають супутні недоліки, обговорені вище.

[0046] У різних необмежуваних модифікаціях, спосіб утворення твердих дрібних частинок включає утворення, щонайменше, одного потоку рідкого сплаву ряду крапель рідкого сплаву. Електрично заряджені частинки рідкого сплаву отримують за допомогою зіткнення електронів з, щонайменше, одним з потоків рідкого сплаву і ряду крапель рідкого сплаву з метою розпилення рідкого сплаву. Електрично заряджені частинки рідкого сплаву розганяються, щонайменше, одним електростатичним полем і одним електромагнітним полем. Частинки рідкого сплаву охолоджуються до температури, нижче температури переходу в твердий стан частинок рідкого сплаву; так що частинки рідкого сплаву тверднуть під час розгону. Затверділі частинки сплаву спресовуються в підкладку, у якій стискувані частинки деформуються і металургійно зчіплюються з підкладкою і одна з одною для отримання заготовки твердого сплаву.

[0047] Відповідно до Фіг. 1, різні необмежувачі модифікації системи 0, скомпонованої для здійснення способу утворення твердих дрібних частинок, як описано в цьому винаході, включають: плавильний пристрій 1 також іменований як "плавильний апарат" або "плавильна установка", який дає, щонайменше, один потік або ряд крапель рідкого сплаву; розпилювальний пристрій з електронним пучком 112 (також посилення в цьому винаході на "розпилювальний пристрій" або "розпилювальний прилад"), який розпилює рідкий сплав, отриманий з плавильного пристрою 1 і дає відносно дрібні частинки рідкого сплаву; апарат для утворення поля 114 (також посилення в цьому винаході на "пристрій утворення поля" або "апарат утворення поля"), який дає, щонайменше, одне електричне поле і електромагнітне поле, яке впливає, щонайменше, одним із способів прискорення розгону, прискорення, а також спрямовування однієї або більше частинок сплаву, отриманого за допомогою розпилювального пристрою 112; і збірника 116, у якому затверділі частинки сплаву вдаряються, деформуються, а також 5 металургійно зчіплюються для утворення заготовки.

[0048] У різних необмежуваних модифікаціях, спосіб утворення твердих дрібних частинок включає: створення потоку рідкого сплаву і/або ряду крапель рідкого сплаву у плавильному пристрої, який може значною мірою не містити кераміки в тих частинах плавильного пристрою, які перебувають у контакті з рідким сплавом; утворення частинок рідкого сплаву в розпилювальному пристрої бомбардуванням електронами рідкого сплаву, отриманого в плавильному пристрої, створення, щонайменше, одного електричного поля і електромагнітного поля, у якому частинки рідкого сплаву з розпилювального пристрою взаємодіють з полем, а поле впливає, щонайменше, одним із способів розгону, прискорення, а також спрямовування частинок рідкого сплаву; охолодження частинок рідкого сплаву під час транспорту частинок з розпилювального пристрою для утворення частинок затверділого сплаву; а також збір частинок затверділого сплаву у збірник у вигляді твердої заготовки.

[0049] У цьому описі, термін "плавильний пристрій" і подібні йому стосуються джерела потоку і/або ряду крапель рідкого сплаву, який може бути отриманий від зарядки вихідної сировини, брухту, злитка, електрода, що витрачається, і/або іншого джерела сплаву. Плавильний пристрій знаходиться в рідинному зв'язку з розпилювальним пристроєм і подає у нього рідкий сплав. У плавильному пристрої можуть значною мірою бути відсутні керамічні матеріали в тих частинах агрегату, які перебувають у контакті з розплавленим матеріалом. У якості використовуваного в цьому винаході, вираз "значною мірою відсутні керамічні матеріали" і подібні йому, означає, що кераміка або відсутня в тих частинах плавильного пристрою, з якими розплавлений матеріал контактує під час роботи, або присутня в частині плавильного пристрою, яка контактує з рідким сплавом під час нормальної роботи, проте, так, що це не призводить до залучення проблемних кількостей або розмірів частинок кераміки або включень у рідкий сплав.

[0050] У різних необмежуваних модифікаціях може бути важливим запобігти або значною мірою обмежити контакт між матеріалом рідкого сплаву і керамічним матеріалом у плавильному пристрої, а також в інших компонентах системи і пристрої, описаних в цьому винаході. Це може бути пов'язано з тим, що частинки кераміки можуть "вимиватися" з керамічних основ і змішуватися з рідким сплавом. Частинки кераміки, як 5 правило, мають вищу температуру точки плавлення, порівняно з матеріалом рідкого сплаву, і можуть вбудовуватися в отримані згодом заготовки. Вбудувавшись в твердий продукт, частинки кераміки можуть ламати і викликати тріщини в продукті, наприклад, під час пластичної втоми. Після появи тріщини можуть рости і призводити до руйнування продукту. Таким чином, залежно від передбачуваного застосування матеріалу заготовки, наприклад, може бути незначним або відсутнім допуск присутності частинок кераміки в матеріалі.

[0051] У металургії плавки і кування частинки кераміки зі стадії вакуумно-індукційної плавки (ВІП) можуть бути видалені під час стадії подальшого вакуумно-дугового переплаву (ВДП) або,

коли застосовується спосіб потрібної плавки, під час електрошлакового рафінування/переплавки (ЕШП) зі стадіями ВДП. Таким чином, у різних необмежуваних модифікаціях плавильний пристрій може включати устаткування ВДП або ЕШП. Оксидна чистота кераміки, досягнута застосуванням різних способів, може бути оцінена методом

5 напівкількісного аналізу, відомим як тест "кнопка ЕП", у якому зонд аналізованого матеріалу плавиться електронним пучком в тиглі, а отриманий осад оксиду аналізується на вміст оксиду, присутнього в найбільшій кількості.

[0052] У порошковій металургії порошок сплаву застигає в продукт після кінцевого твердіння, відсутня будь-яка можливість додаткового рафінування продукту з метою видалення оксидів.

10 Замість цього, порошок просіюється і найбільша фракція порошку, що переробляється в продукт, є тією, якій відповідають найменші дефекти, які частина розробників використовує у своїх критеріях розробки. У розробці найбільш важливих деталей авіаційних двигунів із застиглих металевих порошків, наприклад, найменший модельований дефект дорівнює приблизно 44 мікронів і, таким чином, використовуються порошки, що мають діаметр отворів

15 сита, не більший ніж зазначений. Для менш важливих деталей авіаційних двигунів, найменший модельований дефект може бути приблизно рівним 149 мікронів і, таким чином, використовуються порошки, що мають діаметр отворів сита, не більший ніж зазначений.

[0053] Приклади способів плавки, у яких не вводять керамічних включень і які можуть бути включені до пристрою або системи, скомпонованих для здійснення способу утворення твердих

20 дрібних частинок, наведених в цьому описі винаходу, включають, не вичерпуючи, вказаний список: плавильні пристрої, що містять пристрої для переплавки з вакуумним подвійним електродом; плавильні пристрої, що містять поєднання спрямовуючої холодної індукції і/або пристрій електрошлакового рафінування/переплавки або пристрій вакуумно-дугового переплаву; плавильні пристрої з плазмовою дугою; плавильні пристрої з електронним пучком; а також плавильні пристрої з електронним пучком і охолоджуванним черенем печі.

25

[0054] У якості використаного в цьому винаході, термін "розпилювальний пристрій" і подібні йому стосується пристрою, який зіштовхує, щонайменше, один потік електронів (тобто електронний пучок) або поле електронів з рідким сплавом, отриманим у плавильному пристрої. У якості використаного в цьому винаході, термін "зіштовхує" означає введення в контакт. Таким

30 же чином електрони передають результуючий негативний заряд області зіткнення потоку і/або окремим краплям рідкого сплаву, що зіштовхуються. Як розглянуто в US-6772961 і нижче, як тільки заряд у краплі або певної області потоку досягає достатньої величини, область або крапля стає нестійкою і розривається (тобто розпилюється) на частинки рідкого сплаву меншого розміру. У якості використаного в цьому винаході, вираз "частинки рідкого сплаву" стосується

35 частинок, які містять певну кількість розплавленого матеріалу, але які не обов'язково є повністю рідкими. У якості використаного в цьому винаході, вираз "частинки затверділого сплаву" стосується частинок, які знаходяться при температурі, нижче температури переходу матеріалу в твердий стан і, таким чином, є повністю твердими.

[0055] У різних модифікаціях, розпилювальний пристрій може включати розпилювальний

40 пристрій з електронним пучком, пристрій, прилад, або подібні до них. Як розглянуто в US-6772961, розпилювальний пристрій з електронним пучком може швидко передавати електростатичний заряд потоку або краплі рідкого сплаву. Розпилювальний пристрій з електронним пучком може бути скомпоновано так, що електростатичний заряд, який передається рідкому сплаву, фізично розриває потік або краплю і утворює одну або більше

45 частинок меншого розміру з рідкого сплаву, розпилюючи таким чином матеріал. Розпилення матеріалу рідкого сплаву з використанням швидкої електростатичної зарядки бомбардуванням електронами може призводити до швидкого розпаду сплаву на відносно дрібні частинки внаслідок дії сил електростатичного відштовхування накладених на матеріал. Точніше, область або крапля рідкого сплаву, швидко заряджена електростатично за межами

50 "Релєєвської межі" така, у якій електростатичні сили в області або краплі перевищують поверхневий натяг рідкого сплаву і матеріал, розпадається на більш дрібні частинки.

[0056] Релєєвська межа стосується максимального заряду, який може підтримувати матеріал до того, як сили електростатичного відштовхування в матеріалі перевищать

55 поверхневий натяг, що утримує матеріал разом. Переваги способу розпилення з використанням бомбардування електронами матеріалу для встановлення відштовхування електростатичних зарядів у ньому включають можливість проводити спосіб в умовах вакууму. Таким же чином, хімічні реакції між матеріалом рідкого сплаву і середовищем або розпилюючою рідиною може бути обмежено або усунуто. Зазначена можливість порівняна з традиційним рідинним розпиленням, у якому матеріал, перебуваючи розпиленням, обов'язково контактує з

розпилюючим газом або рідиною і, як правило, проводиться в атмосферному повітрі або в середовищі інертного газу.

[0057] Потік або краплі рідкого сплаву, розпиленого за допомогою розпилювального пристрою, отримують за допомогою плавильного пристрою у верхній частині потоку. Плавильний пристрій може включати, наприклад, дозатор, який створює необхідний потік або краплі рідкого сплаву. У різних необмежуваних модифікаціях дозатор може включати камеру для розплаву з отвором. Приклад такого дозатора показаний в US-6772961, і таким чином включений посиланням до цього опису винаходу. Потік і/або краплі рідкого сплаву виводяться або виходять з отвору і направляються в нижню частину потоку в розпилювальний пристрій. У різних необмежуваних модифікаціях потік рідкого сплаву або краплі виходять з отвору камери для розплаву під впливом механічної дії або тиску. У різних необмежуваних модифікаціях тиск може прикладатися до рідкого сплаву в дозаторі плавильного пристрою за величиною більшою, ніж тиск зовні отвору дозатора, що дозволяє отримати краплі рідкого сплаву з отвору в дозаторі. Тиск може змінюватися циклічно або змінюватися так, щоб вибірково впливати на витікання потоку рідкого сплаву і/або крапель.

[0058] Різні необмежувачі модифікації плавильного пристрою можуть розроблятися з метою "попередньо зарядити" потік рідкого сплаву або краплі, які рухаються до розпилювального пристрою з результирующим негативним зарядом. Попередня зарядка 5 потоку або крапель може знизити величину негативного заряду, який необхідно створити в розпилювальному пристрої з електронним пучком, щоб перевищити Релеєвську межу і розпилити потік або краплі на дрібніші частинки. Необмежувачий спосіб попередньої зарядки потоку рідкого сплаву або крапель повинен проводитися в плавильному пристрої при високому негативному потенціалі щодо інших елементів цілого пристрою. Такий вплив може здійснюватися, наприклад, за допомогою електричного ізолювання плавильного пристрою від інших елементів пристрою з наступним підвищенням негативного потенціалу плавильного пристрою до вищого рівня з використанням джерела струму, електрично спареного з плавильним пристроєм. Іншим необмежувачим способом попередньої зарядки є установка індукційного кільця або пластин у верхній частині потоку розпилювального пристрою в точці, близькій до виходу з отвору плавильного пристрою. Кільце або пластини можуть бути скомпоновані так, щоб індукувати негативний заряд в краплях або потоці, що спрямовується вниз в розпилювальний пристрій. Розпилювальний пристрій може далі бомбардувати електронами попередньо заряджений матеріал з метою подальшого створення негативного заряду і розпилення матеріалу.

[0059] У різних необмежуваних модифікаціях розпилювальний пристрій може включати термоіонний емітер з електронним пучком або схожий пристрій. Ефект термоіонної емісії, також відомий як "ефект Едісона", стосується потоку електронів (посилання на "термоіонний") з металеві поверхні, коли енергія термічних коливань стає більшою за електростатичні сили, що утримують електрони на поверхні. Ефект значно зростає з ростом температури, проте, певною мірою він завжди присутній за температур вище абсолютного нуля. Термоіонний емітер з електронним пучком використовує ефект термоіонної емісії для отримання потоку електронів з певною кінетичною енергією.

[0060] Термоіонні емітери з електронним пучком, як правило, включають: (i) нагрівану нитку розжарювання для отримання електронів; та (ii) область розгону електронів, яка зв'язана з катодом і анодом. Нитка розжарювання, як правило, складається з дроту тугоплавкого матеріалу певної довжини, який нагрівається електричним струмом, що пропускається через нитку розжарювання. Придатні для отримання нитки розжарювання матеріали термоіонного емітера з електронним пучком, як правило, мають наступні властивості: низький потенційний бар'єр (робоча функція); висока температура 5 точки плавлення; стабільність за високих температур; низький тиск насиченої пари; і хімічну стійкість. Різні необмежувачі модифікації термоіонних емітерів з електронним пучком мають нитки розжарювання, наприклад, з вольфраму, гексабориду лантану (LaB6), або гексабориду церію (CeB6).

[0061] У термоіонному емітері з електронним пучком, електрони "википають" з поверхні нитки розжарювання під час докладання достатньої термічної енергії, отриманої за допомогою застосовуваного електричного струму. Електрони, отримані на нитці розжарювання, проходять через отвір в катоді, і електричне поле в області між позитивно зарядженим анодом і негативно зарядженим катодом розганяє електрони через проміжок анода, де електрони проходять через отвір в аноді з кінцевою енергією, що відповідає докладеній напрузі між електродами.

[0062] Для того, щоб надати негативний заряд потоку рідкого сплаву або краплям до рівня, необхідного для подолання поверхневого натягу, і розпилити матеріал, краплі або потік повинні протягом кінцевого періоду часу піддаватися впливу потоку електронів з достатньою енергією і інтенсивністю. Розпилювальний пристрій може давати тривимірний потік електронів, який

поширюється на достатню відстань на шляху проходження крапель або потоку через розпилювальний пристрій. Тривимірний потік електронів, у якому електрони просторово розподілені, може бути поставлений навпроти точкового джерела емітера з електронним пучком, у якому електрони фокусуються у вузький, по суті двовимірний, промінь. Тривимірний просторовий розподіл бомбардуючих електронів збільшує коефіцієнт корисної дії, а також ефективність бомбардування і зарядки рідкого сплаву, що проходить через розпилювальний пристрій під дією сили тяжіння, наприклад.

[0063] Без прив'язки до будь-якої теорії вважається, що частки сплаву, розпилені електронним пучком, можуть бути отримані з розплавлених крапель або потоку за допомогою одного або обох наступних механізмів. У першому необмежуючому механізмі,

розпилені частинки послідовно зриваються з поверхні краплі або потоку в міру накладення негативного заряду на краплю або потік. У другому необмежуючому механізмі, розпилені частинки утворюються завдяки каскадному ефекту, за якого початковий рідкий потік або крапля розпадається на дрібні частинки, частинки, перезаряджені до негативного потенціалу, і розпадаються на дрібніші частинки, а процес 5 повторюється весь час, доки електрони бомбардують отримані більш дрібні розпилені частинки. Незалежно від фізичного механізму розпилення, рідкий сплав повинен піддаватися впливу потоку електронів протягом достатнього часу, щоб накопичити необхідний для розриву матеріалу негативний заряд.

[0064] Необмежуючий просторовий розподіл електронів у потоці електронів, отриманому в розпилювальному пристрої, знаходиться у формі циліндра електронів. Поздовжня вісь циліндра може бути зорієнтована відповідно до загального напрямку руху матеріалу рідкого сплаву через розпилювальний пристрій. Мінімальна довжина циліндра (по поздовжній осі), необхідна для повного розпилення, залежатиме від швидкості руху матеріалу рідкого сплаву, що проходить через розпилюючий агрегат, а також від енергії та інтенсивності потоку електронів в агрегаті. Нециліндричні за формою потоки електронів також можуть використовуватися, такі як, наприклад, поля, що мають у поперечному перерізі (переріз у напрямку руху матеріалу рідкого сплаву через розпилювальний пристрій) прямокутну, трикутну, або будь-яку іншу полігональну або іншу пов'язану форму. У більш загальному вигляді, поля з будь-яким поєднанням енергії, інтенсивності і тривимірної конфігурації є придатними і можуть використовуватися для розпилення матеріалу рідкого сплаву. Різні необмежуючі модифікації розпилювального пристрою з електронним пучком для пристрою, сконструйованого відповідно до представленого розкриття предмета винаходу, обговорюються нижче.

[0065] У різних необмежуючих модифікаціях розпилювальний пристрій може включати нагрівану вольфрамову нитку розжарювання як джерело електронів. Електрони, що випускаються завдяки термоіонному ефекту з нагріваної вольфрамової нитки розжарювання, можуть керуватися електростатичним і/або електромагнітним полями для утворення пучка електронів прямокутної форми. Пучок прямокутної форми може проектуватися в камеру розпилення, як правило, у вигляді тривимірного поля у формі паралелепіпеда, у поперечному напрямку до руху матеріалу рідкого сплаву через розпилювальний пристрій. Фіг.2 схематично ілюструє розпилювальний пристрій 2, що включає вольфрамову нитку розжарювання 212, яка нагрівається струмом джерела струму 214. Нагріта нитка розжарювання 212 дає вільні електрони 216. Електрони 216 можуть бути отримані, наприклад, за допомогою термоіонного емітера з електронним пучком.

[0066] Електронам 216 надають форму за допомогою електростатичного поля, 5 отриманого пластинами 2 для утворення тривимірного електронного пучка 222, що має, як правило, у поперечному перерізі прямокутну форму. Електронний пучок 222 проектується всередину розпилювального пристрою 2 з метою отримання, як правило, тривимірного потоку електронів 226 у формі паралелепіпеда. Краплі рідкого сплаву 2, розподілені у верхній частині плавильного пристрою 232, рухаються через потік електронів 226 і розпилюються на дрібніші частинки 238 через розрив завдяки накопиченню негативного заряду. Розпилені частинки 238 проходять в напрямку стрілки, до збірника (не показано).

[0067] У різних модифікаціях пристрої розпилення можуть включати прилади для отримання електронів замість або додатково до термоіонних емітерів з електронним пучком. Наприклад, у різних модифікаціях розпилювальний пристрій може включати плазмовий електронний емітер, що випромінює іони, також відомий як дротяний іонний генератор з холодним катодом і/або плазмовий іонний емітер. Плазмові електронні емітери, що випромінюють іони, створюють потік електронів, що має, як правило, прямокутну форму в поперечному перерізі. Однією з переваг плазмового електронного емітера, що випромінює іони, є те, що він створює електронну емісію за температур нижчих, ніж у термоіонному електронному емітері. Електрони, отримані за допомогою певних пристроїв отримання електронів або приладу у розпилювальному пристрої,

можуть відповідним чином регулюватися, наприклад, з використанням електромагнітного і/або електростатичного полів для утворення променя електронів, що має відповідний поперечний переріз. Електронний пучок може далі проектуватися в камеру розпилення поперек напрямку руху матеріалу розпилюваного рідкого сплаву.

[0068] Фіг. 3 ілюструє іншу необмежуючу модифікацію розпилювального пристрою 3. Одна або більше вольфрамових ниток розжарювання 312 нагрівається джерелом струму 314 і створює електрони 316, що мають достатню для розпилення рідкого сплаву енергією, що бомбардують рідкий сплав. Електрони можуть бути отримані, наприклад, за допомогою термоіонного емітера з електронним пучком. Електрони 316 можуть регулюватися структурними елементами, такими, як, наприклад, пластини 3 для утворення дифузornoї плями 322. Скануючий пристрій 324 подає електронну пляму 322 з високою швидкістю подачі в область розпилювального пристрою, через яку переміщується матеріал рідкого сплаву, наприклад, під дією сили тяжіння. Вплив високої швидкості подачі дозволяє забезпечити утворення тривимірного потоку електронів 326, що має регульовану форму, у камеру розпилення розпилювального пристрою 3, який скомпоновано для розпилення крапель рідкого сплаву 3, отриманого у плавильному пристрої 332, до дрібніших розпилених частинок 338. Розпилені частинки 338 проходять в напрямку, вказаному стрілкою А, до збірника (не показано).

[0069] Відповідно до Фіг. 4, розпилювальний пристрій 4 створює потік електронів, що має, як правило, прямокутний поперечний переріз. Електрони утворюються на поверхні, як правило, прямолінійної вздовж вольфрамової нитки розжарювання 412, яка нагрівається джерелом струму 414. Зазначений спосіб отримання електронів порівнюваний зі способом одержання електронів за допомогою точкового джерела, як правило, отримуваних в електронно-променевих гарматах. Електрони 416, генеровані поверхнею нитки розжарювання 412, можуть регулюватися електростатичним і/або електромагнітним полями, таким як, наприклад, поле, створене пластинами 4, для утворення променя 422, що має, як правило, прямокутний поперечний переріз. Прямокутний електронний пучок 422 може подаватися з високою растровою швидкістю скануючим пристроєм у розпилювальний пристрій 4 для утворення потоку електронів, через який матеріал рідкого сплаву 4 переміщується після його отримання в плавильному пристрої 432.

[0070] У якості альтернативи, як показано на Фіг. 4, прямокутний електронний пучок 422 може бути спроектований у розпилювальний пристрій 4 за допомогою проектуючого пристрою 424 для утворення потоку електронів 426, що має, як правило, прямокутний поперечний переріз, через який матеріал рідкого сплаву 4 переміщується після утворення в плавильному пристрої 432. Матеріал сплаву 4 розривається завдяки накопиченому негативному заряду в розпилюваних частинках 438, які проходять до збірника (не показано) у напрямку, позначеному стрілкою.

[0071] У різних модифікаціях розпилювальний пристрій може включати множинні джерела електронів. Розпилювальний пристрій може також включати множинні регулюючі та проектуючі/направляючі електрони пристрої для отримання та контролю необхідного потоку електронів. Наприклад, ряд термоіонних або нетермоіонних емітерів з електронним пучком або інших джерел електронів можуть бути зорієнтовані в певних кутових позиціях (наприклад, три емітери/джерела під кутом 1 градусів один до одного) відносно напрямної руху матеріалу рідкого сплаву в камеру розпилення і створювати тривимірний потік електронів, проектуючи електрони з множинних джерел на напрямну.

[0072] У різних модифікаціях компоненти і властивості кількох розпилювальних пристроїв описаних вище модифікацій можуть поєднуватися. Наприклад, відповідно до Фіг. 2 і 3, прямокутний пучок 222 розпилювального пристрою 2 може направлятися растровим пристроєм 324 в розпилювальний пристрій 3 для утворення потоку електронів і розпилення матеріалу рідкого сплаву. Стосовно електронної плями 322, відносно високе характеристичне співвідношення растрування прямокутного електронного пучка 222 може забезпечити більше тривимірне поле, розміщене вздовж напрямку руху матеріалу рідкого сплаву в камеру розпилення.

[0073] У різних необмежуючих модифікаціях розпилювального пристрою з електронним пучком, перший рух або потік електронів може бомбардувати матеріал рідкого сплаву, що виходить з плавильного пристрою, розпилюючи таким чином матеріал сплаву на первинні частинки рідкого сплаву, що мають перший середній розмір. Бомбардування другим потоком електронів первинних частинок може додатково розпилити частинки до меншого середнього розміру. Подальше зменшення середнього розміру може бути досягнуте бомбардуванням успішно розпилених частинок додатковими електронними течіями або потоками. Таким же

чином можна здійснити декілька поліпшень розміру, використовуючи швидку електростатичну зарядку бомбардуванням електронами.

[0074] У різних необмежуваних модифікаціях швидка електростатична зарядка електронним пучком застосовується два, три, або більше разів уздовж напрямної до досягнення кінцевого заданого середнього розміру часток рідкого сплаву. Таким же чином початковий розмір крапель рідкого сплаву, отриманих за допомогою плавильного пристрою, не має необхідності обмежувати розміром кінцевих розпиленних частинок, отриманих в розпилювальному пристрої. Множинними джерелами електронів у такому порядку можуть бути, наприклад, окремі термоіонні емітери з електронним пучком, дротяні іонні генератори з холодним катодом і/або плазмові іонні емітери.

[0075] У різних необмежуваних модифікаціях розпилювального пристрою, крапля або частина потоку рідкого сплаву проходить дві або більше стадії розпилення для досягнення ефективного зменшення середнього розміру отриманих розпиленних частинок. Цей спосіб може здійснюватися, наприклад, за допомогою відповідним чином спрямованих двох або більше електронних гармат, або інших джерел руху, або потоків електронів уздовж напрямної в область між розпилювальним пристроєм та збірником. Розпилювальний пристрій, що має зазначену загальну конструкцію схематично зображено, як агрегат 500 на Фіг. 5. Плавильний пристрій 512 включає дозатор 514, який утворює краплю рідкого сплаву 523a. Дозатор 514 може використовувати, наприклад, механічний пристрій, тиск, або силу тяжіння для утворення краплі рідкого сплаву 523a розплавленого матеріалу, отриманого із злитка, заряду, брукху, і/або іншого джерела у плавильному пристрої 512.

[0076] Гармати для утворення первинного електронного пучка 524a створюють потоки електронів 5 а, які бомбардують краплю 523a і передають краплі негативний заряд. Електростатичні сили, що встановилися у краплі 523a, у кінцевому підсумку перевищують поверхневий натяг краплі, розриваючи краплю і створюючи первинні частинки рідкого сплаву 523b. Вторинні гармати для утворення електронних пучків 524b фокусують потоки електронів 5 b на первинні частинки рідкого сплаву 523b, подібним чином передаючи негативний заряд частинок і розриваючи їх на дрібніші вторинні частинки рідкого сплаву 523c. Третинні гармати для утворення електронних пучків 524c фокусують потоки електронів 5 c на вторинні частинки рідкого сплаву 523c, також передаючи негативний заряд частинкам і розриваючи їх на ще дрібніші третинні частинки рідкого сплаву 523d. У необмежуваних модифікаціях зазначеного порядку кілька гармат для утворення електронних пучків є термоіонними гарматами для утворення електронних пучків, хоча будь-який інший відповідний пристрій може бути використаним для утворення відповідних потоків електронів, такий, як, наприклад, дротяний іонний генератор з холодним катодом і/або плазмовий іонний емітер.

[0077] Як розглянуто в US-6772961, включеному посиланням до цього опису, "швидка" електростатична зарядка стосується зарядки до заданої величини від 1 до 1000 мікросекунд, або будь-кого підряду, віднесеного до даного діапазону в цьому винаході, такого як, наприклад, 1-500 мікросекунд, 1-100 мікросекунд, або 1-50 мікросекунд. Швидка електростатична зарядка рідкого сплаву, отриманого за допомогою плавильного устрою, створює заряди, що перевищують Релєєвську межу матеріалу, і таким чином дає велику кількість частинок рідкого сплаву меншого розміру. Частинки можуть мати, як правило, однаковий діаметр, наприклад, 5-5000 мікрон, або будь-який підряд віднесений до цього діапазону в цьому винаході, такий як, наприклад 5-2500 мікронів або 5-250 мікронів.

[0078] Розпилювальний пристрій створює частинки рідкого сплаву, які додатково обробляються для утворення одиничної і монолітної (тобто такої, що складається з одного шматка) заготовки. У якості використаного в цьому винаході, термін "заготовка" стосується виробу, злитка, або іншого виробу, отриманого із зібраних разом металургійно зв'язаних частинок затверділого сплаву, отриманого з розпиленних частинок. У способах, системах, і пристрої, описаних у цьому винаході, весь сплав або частина часток рідкого сплаву, отриманого за допомогою розпилювального пристрою, контролюються і тверднуть у нижній частині потоку розпилювального пристрою і збираються у вигляді заготовки у збірнику. Наприклад, у різних необмежуваних модифікаціях, система або пристрій можуть включати, щонайменше, один апарат для утворення поля, який створює електростатичне поле і/або електромагнітне поле, яке, щонайменше, частково присутнє в області нижньої частини потоку розпилювального пристрою. Електростатичне поле і/або електромагнітне поле, отримане за допомогою апарату для утворення поля, можуть бути структуровані і/або регульовані таким чином, щоб впливати, щонайменше, одним із способів розгону, прискорення, а також спрямовування частинок рідкого сплаву, які взаємодіють з полем.

[0079] У якості використаного в цьому винаході, термін "апарат для утворення поля" стосується системи або пристрою, який створює і, необов'язково, регулює, одне або більше електростатичних і/або електромагнітних полів, які можуть використовуватися для контролю, щонайменше, одним із способів розгону, прискорення, і спрямовування рідких і затверділих частинок сплаву в область нижньої частини потоку розпилювального пристрою. Приклади пристроїв для утворення поля, придатних для застосування у способах, системах і пристрої, описаних у цьому винаході, описані в US-6772961, який включений посиланням до цього опису винаходу.

[0080] Як використаний у цьому винаході, термін "електростатичне поле" може стосуватись одиничного електростатичного поля або більшої кількості (два або більше) електростатичних полів. Електростатичне поле може бути отримане, наприклад, зарядкою 5 точки, пластини, або іншого джерела високого потенціалу. Також у якості використаного в цьому винаході, термін "електромагнітне поле" може стосуватись одиничного електромагнітного поля або більшої кількості електромагнітних полів. Електромагнітне поле може бути створене, наприклад, електричним струмом, що пройшов через провідник, такий як, наприклад, котушка провідника.

[0081] У різних необмежуваних модифікаціях апарат для утворення поля створює одне або більше електростатичних і/або електромагнітних полів, які взаємодіють як безпосередньо з частинками затверділого сплаву, так і з різними областями отримуваної заготовки різну кількість разів під час процесу одержання виробу. Електростатичні і/або електромагнітні поля можуть також застосовуватися безпосередньо до частинок затверділого сплаву, у ділянках виробленої заготовки, де необхідна подача або відведення тепла, таким чином впливаючи на макроструктуру заготовки. У здійснюваному способі утворення твердих дрібних частинок, форма одного або більше електростатичних і/або електромагнітних полів може також регулюватися з метою утворення близько-результуючої форми заготовки спрямовуванням частинок у заздалегідь визначені області отримуваної заготовки різну кількість разів під час процесу виробництва. Використовуючи одне або більше електростатичних і/або електромагнітних полів з використанням апарату для утворення поля, можливо підвищити вихід продукту процесу отримання, а також поліпшити (і контролювати) густину отриманої заготовки.

[0082] У різних необмежуваних модифікаціях апарат для утворення поля створює електростатичне поле в області між розпилювальним пристроєм та збірником, електрично спарюючи збірник з джерелом струму постійного струму високої напруги і заземлений розпилювальний пристрій. Встановлено, що розпилення електронним пучком може використовуватися у способах, системах, і пристрої, описаних у цьому винаході, а також встановлено, що розпилені частинки будуть негативно заряджатися, негативна поляризація використовується для того, щоб негативно заряджені розпилені і затверділі частинки відштовхувалися від розпилювального пристрою і притягувалися до збірника. Електростатичне поле може взаємодіяти з негативно зарядженими частинками сплаву, отриманими за допомогою розпилювального пристрою, а частинки можуть спрямовуватися під вплив поля для переміщення в загальному напрямку ліній електростатичного поля. Зазначена взаємодія може використовуватися для контролю 5 одного або більше розгону, прискорення і спрямовування рідких і затверділих частинок сплаву до збірника.

[0083] Додатково до джерела електроживлення постійного струму високої напруги, апарат для утворення поля може включати один або більше електродів, встановлених у відповідних точках і в прийнятних орієнтаціях так, щоб створювати відповідне поле(-я) між розпилювальним пристроєм та збірником. Електроди можуть бути розміщені і скомпоновані відповідно до форми електростатичного поля між розпилювальним пристроєм та збірником заданим способом. Електростатичне поле, створене під впливом одного або більше електродів, може мати форму, яка направляє рідкі та затверділі частинки сплаву у збірник заданим способом.

[0084] Апарат для утворення поля може також включати велику кількість джерел електроживлення постійного струму з високою напругою, кожне з'єднане функціонально з одним або більше електродами, розташованими у відповідній позиції і у відповідній орієнтації між розпилювальним пристроєм та збірником, і який впливає на форму електростатичного поля, отриманого за допомогою апарату для утворення поля між розпилювальним пристроєм та збірником, способом, залежним від часу. Таким же чином поле може регулюватися, відповідним чином спрямовуючи частинки сплаву, отриманого за допомогою розпилювального пристрою, у віддалені ділянки або місця збірника або виготовленої заготовки після завершення її формування.

[0085] Наприклад, апарат для утворення поля, що включає велику кількість електродів і зв'язані джерела струму, може бути включений до системи або пристрою, скомпонованих для отримання твердих дрібних частинок біля твердих виробів результуючої форми, що мають

високу густину порівняно із заготовками, отриманими традиційними способами утворення дрібних крапель і вилівки з утворенням зародків. У такій модифікації електростатичне поле може змінюватися за силою і/або формою, відповідним чином спрямовуючи затверділі частинки сплаву у збірник.

5 [0086] У різних необмежуваних модифікаціях електромагнітне поле може бути отримане між розпилювальним пристроєм та збірником за допомогою однієї або більше магнітних котушок, встановлених у проміжку між розпилювальним пристроєм та збірником. Магнітні котушки можуть бути електрично з'єднані з джерелом струму, яке подає напругу на котушки. Частинки сплаву, отриманого за допомогою розпилювального 5 пристрою, можуть бути спрямовані уздовж ліній електромагнітного поля в збірник. Розміщення і/або орієнтація однієї або більше магнітних котушок можуть бути скомпоновані так, щоб направляти частинки у певні ділянки або місця збірника або отримуваної заготовки. Таким же чином частинки сплаву можуть направлятися для підвищення густини заготовки або навіть утворення близько-результуючої форми заготовки під час утворення твердих дрібних частинок.

15 [0087] У різних необмежуваних модифікаціях велика кількість магнітних котушок може бути встановлена між розпилювальним пристроєм та збірником. Електромагнітні поля, отримані за допомогою великої кількості магнітних котушок, які можуть бути окремо або разом заряджені до різних інтенсивностей магнітних полів, впливають на напрям руху частинок сплаву, отриманого за допомогою розпилювального пристрою, спрямовуючи частинки в певні попередньо задані ділянки або місця збірника або отримуваної заготовки. Таким же чином частинки сплаву можуть направлятися у попередньо задані моделі для лиття для утворення, наприклад, твердих заготовок, що мають близько-результуючу форму і/або відносно високу густину.

20 [0088] У різних необмежуваних модифікаціях поля, отримані за допомогою апарату для утворення поля, можуть використовуватися для покращення або удосконалення регулювання потоків, вже доступних завдяки використанню переміщуваних розпилюючих форсунок в розпилювальному пристрої. У різних необмежуваних модифікаціях істотне регулювання потоків, яке може бути досягнуте тільки за допомогою відповідним чином регульованої форми поля, напрямку і/або інтенсивності, може повністю замінити рух розпилюючих форсунок у розпилювальному пристрої.

30 [0089] У різних необмежуваних модифікаціях усі або частина частинок рідкого сплаву, що отримані за допомогою розпилювального пристрою і проходять в або через поле(-я), отримане за допомогою апарату для утворення поля, збираються до збірника у вигляді твердої заготовки. У якості використаного в цьому винаході, термін "збірник" стосується

35 підкладки, пристрою, елементу, частини або області підкладки, пристрою, елемента, або поєднання елементів, скомпонованих для отримання всіх частинок або частини затверділих частинок сплаву, отриманих охолодженням частинок рідкого сплаву, одержаних за допомогою розпилювального пристрою. Не обмежуючи приклади, збірник, який може бути включений до модифікації системи або пристрою, скомпонованих для 5 здійснення способу утворення твердих дрібних частинок, включає повністю, частину або область камери, ливарну форму, пластину, оправлення або іншу поверхню.

40 [0090] Збірник може утримуватися на нульовому потенціалі або, у різних необмежуваних модифікаціях, на високому позитивному потенціалі так, що притягує негативно заряджені розпилені частинки, отримані за допомогою розпилювального пристрою. Система, проілюстрована на Фіг. 1, тобто система, яка включає плавильний пристрій, розпилювальний пристрій, апарат для утворення поля, а також збірник, може бути скомпонована і функціонувати для утворення дрібних твердих частинок злитка або іншої твердої заготовки на поверхні збірника, яким у такому випадку може бути, наприклад, пластина або оправлення. У різних необмежуваних модифікаціях, система або пристрій, скомпоновані для утворення дрібних твердих частинок злитка або іншої заготовки, можуть включати збірник, який містить пластину або оправлення, що може бути пристосована для обертання або в іншому випадку переміщення до твердого виробу заданої геометричної форми, сформованого відповідним чином.

50 [0091] У різних необмежуваних модифікаціях надлишкове напилення частинок затверділого сплаву зменшується або усувається відповідною зарядкою збірника. Розпилення рідкого потоку і/або рідких частинок з використанням електронного пучка утворює частинки, які заряджені негативно внаслідок присутності надлишку електронів у розпиленіх частинках. За відповідної зарядки збірника до позитивної полярності збірник буде притягувати частинки і, таким чином, значно зменшувати або усувати надлишкове напилення. Надлишкове напилення є проблематичним недоліком традиційних способів утворення дрібних крапель, який може призводити до значного погіршення виходу продуктів процесу.

[0092] Фіг. 6 схематично ілюструє різні елементи необмежуваних модифікацій пристрою 600, сконфонованого для утворення дрібних твердих частинок твердої заготовки. Розпилювальний пристрій з електронним пучком 6 утворює негативно

заряджені частинки рідкого сплаву 612. Електростатичне поле 614 отримують між розпилювальним пристроєм 6 та збірником 616. Розпилювальний пристрій 6 отримує, щонайменше, один з потоку або ряду крапель рідкого сплаву плавильного пристрою (не показано). Заряджені частинки рідкого сплаву взаємодіють з електростатичним полем 614, яке розганяє частинки сплаву 612 до збірника 616. Частинки рідкого сплаву 612 тверднуть, утворюючи частинки затверділого сплаву, проходячи з розпилювального пристрою 6 до збірника 616. Частинки затверділого сплаву ударяються у збірник 616 і формують тверду заготовку 618 на поверхні збірника 616. Вплив поля на прискорення і/або напрямки частинок рідкого сплаву 612 і, у свою чергу, на затверділі частинки сплаву, може використовуватися для зниження або усунення надлишкового напilenня від заготовки 618, таким чином, збільшуючи вихід продукту процесу утворення твердих дрібних частинок, і по можливості також збільшуючи густину заготовки 618 відносно густини, яку можливо отримати без використання агрегату для утворення поля.

[0093] Фіг. 7 схематично ілюструє різні елементи необмежуваних модифікацій пристрою 700, сконфонованого для здійснення способу утворення твердих дрібних частинок. Плавильний пристрій 710 подає, щонайменше, один потік або ряд крапель рідкого сплаву в розпилювальний пристрій з електронним пучком 712, який утворює аерозоль з негативно заряджених частинок рідкого сплаву 714. Електростатичне і/або електромагнітне поле 716 отримують за допомогою апарату для утворення поля між розпилювальним пристроєм 712 і збірником відповідної форми 718. Поле 716 взаємодіє з зарядженими частинками рідкого сплаву 714, розганяючи частинки 714 до збірника 718. Частинки рідкого сплаву 714 тверднуть і формують частинки затверділого сплаву 715, проходячи з розпилювального пристрою 712 до збірника 718. Частинки сплаву 714/715 можуть розганятися сильніше, якщо збірник 718 підтримує високий позитивний потенціал. Сила розгону і регулювання потоків, викликаних за допомогою поля 716 у заряджених частинках 714/715, можуть використовуватися для підвищення густини твердої заготовки 720, і також можуть бути використані для утворення близько-результуючої форми заготовки 720. Збірник 718 може бути стаціонарним або пристосованим до обертання, або в іншому випадку відповідним чином переміщуватися. Частинки затверділого сплаву 715 вдаряються у збірник 718, отримувати заготовку 720, деформуються під час удару, а частинки металургійно зчіплюються разом для утворення твердої заготовки 720.

[0094] Як показано на Фіг. 7А, альтернативна необмежувана модифікація пристрою 700 включає апарат отримання нерівноважної плазми, сконфонований для утворення нерівноважної плазми 722 в напрямку руху рідких частинок 714 між двома тепловідвідними електродами 724. Електроди 724 термічно зв'язані із зовнішньою термічною масою 726 через діелектричну рідину, яка циркулює трубопроводом 728 завдяки насосам 730. Термічне спарювання між тепловідвідними електродами 724 і зовнішньою термічною масою 726 через діелектричну рідину дозволяє відводити тепло від рідких частинок 714 і зв'язувати з термічною масою 726. Нерівноважна плазма 722 між тепловідвідними електродами 724 може бути отримана, наприклад, засобами тліючого розряду змінного струму або коронуючого розряду. Нерівноважна плазма 722 передає тепло рідкій частинці 714 двом тепловідвідним електродам 724, які передають тепло зовнішній термічній масі 726. Відведення тепла від частинок рідкого сплаву 714 дозволяє частинкам тверднути і формувати частинки затверділого сплаву 715.

[0095] Системи і пристрої передачі тепла, які утворюють нерівноважну плазму для передачі тепла до або від розпилених частинок рідкого сплаву описані в US-6772961, який включений посиланням до цього опису винаходу. Системи і пристрої передачі тепла, які утворюють нерівноважну плазму для передачі тепла до або від матеріалів сплаву також описані в Патенті США N. 7114548, який, таким чином, включений посиланням до цього опису винаходу.

[0096] Фіг. 8 схематично ілюструє різні елементи необмежуваних модифікацій пристрою 800, сконфонованого для здійснення способу утворення твердих дрібних частинок. Плавильний пристрій 8 забезпечує, щонайменше, потік або ряд крапель рідкого сплаву до розпилювального пристрою з електронним пучком 812. Плавильний пристрій 810 необов'язково може підтримувати високий негативний потенціал, такий як від довільного джерела струму 822, для того, щоб негативно "попередньо зарядити" розплавлений матеріал, перед тим як він потрапляє в розпилювальний пристрій 812, таким чином, знижуючи кількість негативного заряду, який розпилювальний пристрій 812 має передавати розплавленому матеріалу для його розпилення. Вказана властивість "попередньої зарядки" також може використовуватися в іншій модифікації,

описаній у цьому винаході, з метою знизити кількість негативного заряду, який слід надати розплавленому матеріалу для розпилення у розпилювальному пристрої.

[0097] Розпилювальний пристрій з електронним пучком 812 утворює аерозоль із заряджених частинок рідкого сплаву 814. Електромагнітне поле 816 отримують за допомогою магнітних котушок 818 (показане не повністю). Заряджені частинки рідкого сплаву 814 взаємодіють з полем 816 і таким чином направляються до збірника 820. Частинки рідкого сплаву 814 тверднуть і формують частинки затверділого сплаву 815, проходячи з розпилювального пристрою 812 до збірника 820. Регулювання потоку частинок сплаву 814/8, викликаного полем 816, може знизити надлишкове напilenня, таким чином збільшуючи вихід продукту процесу утворення твердих дрібних частинок, а також може підвищити густину твердої заготовки 822. Частинки твердого сплаву 815 ударяються у збірник 820 і отримувану заготовку 822, деформуються під час удару, а частинки металургійно зчіплюються разом, формуючи тверду заготовку 822.

[0098] Як показано на Фіг. 8А, нерівноважна плазма 842 необов'язково може бути отримана в напрямку руху частинок сплаву 814/8 між двома тепловідвідними електродами 844, які з'єднані термічно із зовнішньою термічною масою 846 за допомогою діелектричної рідини, що циркулює трубопроводами 848 і подається насосами 850. Термічний зв'язок, що підтримується між тепловідвідними електродами 844 і зовнішньою термічною масою 846, дозволяє відводити або підводити тепло до частинок сплаву 814/8. Нерівноважна плазма 842 між тепловідвідними електродами 844 може бути отримана, наприклад, за допомогою тліючого розряду змінного струму або коронуючого розряду.

[0099] Нерівноважна плазма 842 може також поширюватися від тепловідвідних електродів 844 до твердої заготовки 822 та збірника 820, забезпечуючи відведення або підведення тепла до заготовки 822 і збірника 820. Відповідно, у пристрої 800, тепло може переноситися від частинок рідкого сплаву 814, частинок затверділого сплаву 815, твердої заготовки 822 та збірника 820 через нерівноважну плазму 842 до тепловідвідних електродів 844, а потім до зовнішньої термічної маси 846. Відведення тепла від частинок рідкого сплаву 814 дозволяє частинкам тверднути і формувати частинки затверділого сплаву 815.

[00100] Фіг. 9 схематично ілюструє різні елементи необмежуючої модифікації пристрою 900, скомпанованого для здійснення способу утворення твердих дрібних частинок. Плавильний пристрій 9 подає, щонайменше, один потік або ряд крапель рідкого сплаву в розпилювальний пристрій з електронним пучком 912. Розпилювальний пристрій 912 створює заряджені частинки рідкого сплаву 914. Електромагнітне поле 916, 5 отримане за допомогою магнітних котушок 918 (показані не повністю) взаємодіє з зарядженими частинками рідкого сплаву 914, розпилюючи частинки 914 і знижуючи вірогідність їх зіткнення, таким чином перешкоджаючи утворенню великих рідких частинок і, отже, великих частинок затверділого сплаву 942. Друге електромагнітне поле 940, отримане за допомогою магнітних котушок 943 (показані не повністю) взаємодіє з і направляє затверділі частинки 942 до збірника 944. Тверда заготовка 946 формується в збірнику 944, де частинки затверділого сплаву 942 ударяються у збірник 944 і заготовку 946, де частки затверділого сплаву 942 деформуються під час удару і металургійно зчіплюються разом, утворюючи тверду заготовку 946.

[00101] Як показано на Фіг. 9А, необмежуюча модифікація пристрою 900 може бути скомпанована таким чином, що нерівноважна плазма 922 утворюється в напрямку руху рідких частинок 914 між двома тепловідвідними електродами 924, які термічно зв'язані із зовнішньою термічною масою 926 за допомогою діелектричної рідини, яка циркулює трубопроводом 928 і подається насосами 930. Розміщення тепловідвідних електродів 924, термічно зв'язаних із зовнішньою термічною масою 926, дозволяє відводити тепло від частинок рідкого сплаву 914, тверднути частинкам рідкого сплаву та формувати частинки затверділого сплаву 942.

[00102] У різних необмежуючих модифікаціях пристрій або система, скомпановані для здійснення способу утворення твердих дрібних частинок можуть включати камеру або подібний елемент, який включає в себе або містить всі або частину плавильного пристрою, розпилювальний пристрій, апарат для утворення поля, апарат утворення плазми, збірник, і/або виріб (напр., заготовку). Якщо, наприклад, апарат для підведення тепла використовує нерівноважну плазму, включену до пристрою або системи, весь апарат для підведення тепла або його частина і його зв'язані електроди, а також нерівноважна плазма, також можуть бути вкладені в камеру. Така камера може бути встановлена для того, щоб мати можливість регулювати середовище (атмосферу) в камері, включаючи частинки і парціальні тиски присутніх газів і/або загальний тиск газу в камері.

[00103] Наприклад, камера може мати розрідження для створення вакууму (у якості використаного в цьому винаході, "вакуум" стосується повністю або частково створеного

вакууму) і/або може бути повністю або частково заповнена інертним газом (напр., аргонем 5 і/або азотом), обмежуючи окислення оброблюваних матеріалів, і/або перешкодити іншій небажаній хімічній реакції, такий як нітрифікація. У необмежувачій модифікації пристрою, що включає камеру, тиск у камері може підтримуватися на рівні нижче атмосферного тиску, 5 наприклад 0,1-0,0001 торр, або в межах будь-якого підряду, віднесеного до даного діапазону в цьому винаході, наприклад 0,01-0,001 торр.

[00104] Частинки рідкого сплаву, отримані бомбардуванням електронами розплавленого матеріалу, як відображено в цьому описі винаходу, як правило, є найвищою мірою негативно зарядженими. Різні необмежувачі модифікації, описані в цьому винаході, також включають 10 пристрої для попереднього додавання негативного заряду розплавленому матеріалу перед бомбардуванням електронами і розпиленням розплавленого матеріалу. Може існувати тенденція для негативно заряджених частинок/матеріалу розганятися до ближніх структур, підтримуваних на нульовому потенціалі. Такі структури можуть включати стінки камери та інших компонентів пристроїв, суміжних з напрямною руху розплавленого матеріалу в нижній частині 15 потоку плавильного пристрою. У різних необмежувачих модифікаціях розпилювальний пристрій включає пластини або інші структури з відповідною формою, що підтримують негативний потенціал і розташовані так, що відхиляють негативно заряджені частинки/матеріал і перешкоджають небажаному розгону частинок/матеріалу до стінок камери і/або іншої структури, що підтримує нульовий потенціал.

[00105] Різні необмежувачі модифікації пристрою або системи, скомпонованих для здійснення способу утворення твердих дрібних частинок, можуть включати плавильний пристрій, що не містить значних кількостей керамічних матеріалів в області, яка може контактувати, і, таким чином, забруднювати рідкий сплав, отриманий за допомогою плавильного пристрою під час його роботи. Кожен такий пристрій може також включати розпилювальний 25 пристрій з електронним пучком для розпилення розплавленого матеріалу і утворення частинок рідкого сплаву. Кожен такий пристрій може також включати апарат для утворення поля, який створює одне або більше електромагнітних і/або електростатичних полів між розпилювальним пристроєм та збірником і впливає, щонайменше, одним із способів розгону, прискорення і спрямовування частинок, доки вони перетинають всю відстань або її частину між розпилювальним пристроєм та збірником. 30

[00106] Різні необмежувачі модифікації пристрою або системи, скомпонованих для здійснення способу утворення твердих дрібних частинок, можуть включати один або більше пристроїв утворення нерівноважної плазми, які утворюють нерівноважну плазму для перенесення тепла до або від рідини і/або часток затверділого сплаву після їх отримання за допомогою розпилювального пристрою, але перед співударянням твердих частинок в збірнику/отримуваному виробі для утворення твердої заготовки. У якості альтернативи або 35 додатково, необмежувачі модифікації пристрою, скомпонованого для здійснення способу утворення твердих дрібних частинок, можуть утворювати одну або більше нерівноважну плазму для передачі тепла до твердого матеріалу сплаву або від нього після його зіткнення у збірнику, і можуть застосовуватися для отримання заготовки, одержуваної на або у збірнику. 40

[00107] Фіг.10-13 схематично ілюструють різні необмежувачі модифікації плавильних пристроїв, які можуть бути включені як компонент пристрою або системи, скомпонованої для здійснення способу утворення твердих дрібних частинок. Кожна така модифікація плавильного пристрою може використовуватися для утворення, щонайменше, одного потоку або ряду 45 крапель рідкого сплаву з електроду, що витрачається, або іншої сировини для сплаву. Кожна така модифікація плавильного пристрою може бути сконструйована так, щоб була відсутня кераміка в області агрегату, яка знаходитиметься в контакт з рідким сплавом, отримуваним в агрегаті.

[00108] Фіг. 10 ілюструє використання вакуумного переплавного пристрою з подвійним електродом, як компонента плавильного пристрою утворення рідкого сплаву, який подається в розпилювальний пристрій з електронним пучком. Вакуумна переплавка з подвійним електродом, або "ВППЕ", є способом, описаним, наприклад, в Патенті США № 4261412, який таким чином включений посиланням у цей опис винаходу. У пристрої ВППЕ розплавлений матеріал отримують ударом дуги у вакуумі між двома споживаними електродами, які 50 плавляться. Перевагою способу ВППЕ перед традиційним вакуумно-дуговим переплавом (ВДП) є те, що спосіб ВППЕ дозволяє здійснювати більш жорсткий контроль температури і швидкості плавки. 55

[00109] Посилаючись на Фіг.10, стінка вакуумної камери 1010 оточує розташовані навпроти споживані електроди 1014 і розпилювальний пристрій 1016. Електричний струм проходить між і 60 через розташовані навпроти електроди 1014, плавлячи електроди для утворення краплі 1018

(або, як альтернатива, потоку) рідкого сплаву. Краплі рідкого сплаву 1018 падають з електродів у розпилювальний пристрій 1016. Як альтернатива, збірник розплаву в каналі для руху флюїдів з прямою холодною індукцією або подібний дозувальний пристрій (не показано) може бути встановлений між електродами 1014 і розпилюючим пристроєм 1016. Розпилені частинки рідкого сплаву, отриманого за допомогою розпилювального пристрою 1016, проходять через і піддаються впливу одного або більше електромагнітних і/або електростатичних полів, отриманих за допомогою апарату для утворення поля (не показано), тверднуть, впресовуються у збірник або отримуваний виріб (не показано), металургійно зчіплюються разом і формують тверду заготовку.

[00110] Фіг. 11 ілюструє використання плавильного пристрою з електронним пучком як компонента плавильного пристрою, що дає рідкий сплав, який подається в розпилювальний пристрій з електронним пучком. У плавці електронним пучком, вихідний матеріал плавиться його бомбардуванням електронами з високою енергією. Забруднення рідкого продукту можна зменшити або усунути плавкою в регульованому вакуумі. Енергетична ефективність плавки електронним пучком може перевищувати даний параметр в конкуруючих способах через можливість контролювати час витримки плями електронного пучка і розподіл на ділянці плавки. Також, втрати енергії електронного пучка всередині гармати і між форсункою гармати та цільовим матеріалом відносно незначні.

[00111] Як обговорювалося вище, плавильні пристрої, описані в цьому винаході, включають плавильний пристрій, показаний на Фіг. 11, наприклад, може бути скомпоновано так, щоб підтримувати високий негативний потенціал і таким чином передавати негативний заряд розплавленому матеріалу перед його проходженням у нижній частині потоку в розпилювальний пристрій апарату. Як приклад, плавильний пристрій, показаний на Фіг. 11, може бути скомпоновано так, щоб включати камеру для розплаву, яка є електропровідником, підтримує високий негативний потенціал, і з якою розплавлений матеріал контактує перед потраплянням в розпилювальний пристрій.

[00112] Відповідно до з Фіг. 11, вакуумна камера 1110 оточує джерела утворення електронного пучка 1112 плавильного пристрою, споживаний електрод 1114, який плавиться, розпилювальний пристрій з електронним пучком 1116, а також збірник (не показано). Електронні пучки впливають на електрод 1114, нагрівають і плавлять електрод для утворення краплі 1118 (або, як альтернатива, потоку) рідкого сплаву. Краплі 1118 падають з електрода 1114 в розпилювальний пристрій 1116. Розпилені частинки рідкого сплаву, отримані за допомогою розпилювального пристрою 1116 проходять через і піддаються впливу одного або більше електромагнітних і/або електростатичних полів, отриманих за допомогою апарату для утворення поля (не показано), тверднуть, впресовуються у збірник або отримуваний виріб (не показано), металургійно зчіплюються разом, і формують тверду заготовку.

[00113] Фіг. 12 ілюструє використання плавильного пристрою з електронним пучком і охолоджуваним черенем печі як компонента плавильного пристрою для утворення рідкого сплаву, який подається в розпилювальний пристрій з електронним пучком. У типовому способі плавки електронним пучком з охолоджуванним черенем печі, перша гармата для утворення електронного пучка плавить заряд, який може мати безліч форм (напр., злиток, губка, або брухт). Розплавлений матеріал перетікає в пологий охолоджуваний водою тигель (охолоджуваний черень печі), де одна або більше електронних гармат підтримують температуру розплавленого матеріалу. Основною функцією охолоджуваного череня печі є відокремлювати легші або важчі, ніж розплавлений матеріал, включення, одночасно збільшуючи час перебування частинок з низькою густиною, що мають високу точку плавлення, для того, щоб забезпечити їх повне розчинення. Усі операції можуть проводитися в умовах вакууму з метою забезпечення відповідної роботи електронної гармати та щоб уникнути забруднення сплаву навколишнім середовищем. Перевагою способу плавки електронним пучком з охолоджуванним черенем печі є те, що він може ефективно усувати леткі елементи, такі як хлорид і водень (частково через довільно створюваний вакуум), і включення в розплав. Спосіб також є гнучким щодо форми сировини.

[00114] Відповідно до Фіг. 12, вакуумна камера 1210 оточує джерела утворення електронного пучка 1212 і мідного, охолоджуваного водою охолоджуваного череня печі 1216 плавильного пристрою, споживаний електрод 1214, який плавиться, розпилювальний пристрій з електронним пучком 1218, і збірник (не показано). Розплавлений матеріал 1220, у формі потоку і/або ряду крапель, падає з мідного, охолоджуваного водою охолоджуваного череня печі 1216 в розпилювальний пристрій 1218. Розпилені частинки рідкого сплаву, отримані за допомогою розпилювального пристрою 1218 проходять через і піддаються впливу одного або більше електромагнітних і/або електростатичних полів, отриманих за допомогою апарату для

утворення поля (не показано), тверднуть, впресовуються у збірник або отримуваний виріб (не показано), металургійно зчіплюються разом і формують тверду заготовку.

[00115] Фіг. 13 ілюструє використання плавильного пристрою, що включає поєднання пристрою електрошлакового рафінування/переплавки (ЕШП) і прямої холодної індукції (НХІ) для утворення рідкого сплаву, який подається в розпилювальний пристрій з електронним пучком. Як альтернатива, плавильний пристрій, що поєднує вакуумно- дуговий переплав (ВДП) і НХІ може бути використаний замість поєднання ЕШП/НХІ. Пристрої, що поєднують ЕШП або ВДП-пристрої та НХІ, описані, наприклад, в Патенті США № 5325906, який таким чином включений посиланням у цей опис винаходу.

[00116] У типовому способі ЕШП, електричний струм проходить через споживаний електрод і шлак, що проводить струм, який знаходиться в ємності для рафінування і контактує з електродом. Краплі розплаву від електрода проходять через і очищаються за допомогою електропровідного шлаку, і можуть проходити в нижню частину потоку пристрою. Основні компоненти пристрою ЕШП включають джерело електроживлення, механізм подачі від електрода, охолоджувану водою мідну ємність для рафінування, а також шлак. Конкретний тип використовуваного шлаку буде залежати від конкретного матеріалу, що очищується. Спосіб ВДП включає плавку споживаного електрода, який утворений речовиною сплаву, ударом дуги електрода у вакуумі. На додачу до зниження кількості розчиненого азоту і водню, ВДП процес дозволяє видалити більшість оксидних включень в дуговій плазмі.

[00117] У поєднаннях ЕШП/НХІ і ВДП/НХІ, НХІ, на який також посилаються в різних документах, як на "холодний палець" або "холодну стінку індукційної направляючої", може підтримувати розплавлений матеріал у рідкій формі, поки матеріал переходить з пристрою ВДП або ЕШП в нижню частину потоку у розпилювальний пристрій. СХІ також захищає розплавлений матеріал від контакту із середовищем. НХІ може бути безпосередньо спареним у верхній частині потоку з пристроєм ЕШП або ВДП, а в нижній частині потоку з розпилювальним пристроєм з метою захистити очищений розплавлений матеріал від атмосфери, запобігаючи утворенню оксидів і забрудненню розплаву. НХІ також може використовуватися для контролю потоку розплавленого матеріалу з пристроїв ЕШП або ВДП в розпилювальний пристрій.

[00118] Конструкція і спосіб роботи пристрою НХІ описані, наприклад, в патентах США № 5272718; 5310165; 5348566; і 5769151, які таким чином включені посиланнями в цей опис винаходу. НХІ, як правило, включає контейнер для розплаву, де отримують розплавлений матеріал. Контейнер розплаву включає днище з отвором. Область переносу НХІ сконфонована так, що включає канал (який може бути, наприклад, у загальному вигляді у формі воронки), сконструйований для отримання розплавленого матеріалу з отвору в контейнері розплаву. В одній з типових конструкцій НХІ стінка каналу у формі воронки оснащена рядом охолоджуваних рідиною металевих сегментів, а також охолоджувані рідиною сегменти оснащують внутрішній контур каналу, який може, як правило, звужуватися в поперечному перерізі в напрямку від вхідного отвору до вихідного отвору. Одна або більше електропровідних котушок зв'язані зі стінкою каналу у формі воронки, а джерело електричного струму знаходиться в з'єднанні окремо з електропровідними котушками. Коли розплавлений матеріал перетікає з контейнера розплаву пристрою НХІ через канал НХІ, електричний струм проходить через електропровідні котушки з інтенсивністю, достатньою для індуктивного нагрівання розплавленого матеріалу і його підтримання у формі розплаву.

[00119] Частина розплавленого матеріалу контактує з охолоджуваною стінкою каналу НХІ у формі воронки і може тверднути, утворюючи гарнісаж (настиль), який ізолює залишок розплавленого матеріалу, що перетікає через НХІ від контактуючої стінки. Охолодження стінки та утворення гарнісажу (настилю) страхує від того, що розплавлений матеріал, який проходить через НХІ, не забруднюється металами або іншим складовими, з якого виконані внутрішні стінки НХІ. Як розкрито, наприклад, в пат. США № 5649992, товщина гарнісажу (настилю) в області частини НХІ у формі воронки може контролюватися відповідним регулюванням температури охолоджуючого агента, швидкості течії охолоджуючого агента, і/або інтенсивністю струму в індукційних котушках для контролю або повного закриття потоку розплаву через НХІ; оскільки 5 товщина гарнісажу (настилю) зростає, потік через область перенесення, відповідно, знижується. Хоча пристрій НХІ може оснащуватися різними способами, кожен пристрій, як правило, включає: (1) канал, який використовує силу тяжіння для направлення розплаву; (2) пристрої охолодження, щонайменше, в області стінки для активізації утворення гарнісажу (настилю) на стінці; і (3) електропровідні котушки, зв'язані з, щонайменше, частиною каналу, для індуктивного нагрівання розплавленого матеріалу в каналі.

[00120] Відповідно до Фіг. 13, вакуумна камера 1310 оточує плавильний пристрій ЕШП/НХІ, розпилювальний пристрій з електронним пучком 1312, і збірник (не показано). Джерело

розплаву в ЕШП/НХІ включає споживаний електрод 1314 з необхідного сплаву і охолоджуваний водою мідний тигель 1316. Рідкий шлак, що нагрівається, 1318 впливає на процес плавки електрода 1314 для утворення ванни рідкого розплаву 1320. Рідкий сплав з ванни розплаву 1320 перетікає через форсунку НХІ 1324, у вигляді рідкого потоку і/або ряду крапель 1322, і проходить в розпилювальний пристрій 1312. Розпилені частинки рідкого сплаву, отримані за допомогою розпилювального пристрою 1312, проходять через і піддаються впливу одного або більше електромагнітних і/або електростатичних полів, отриманих за допомогою апарата для утворення поля (не показано), тверднуть, впресовуються у збірник або отримуваний виріб (не показано), металургійно зчіплюються разом і формують тверду заготовку.

[00121] Альтернативні способи плавки вихідного матеріалу в плавильному пристрої, апараті або системі, скомпонованих для здійснення процесу утворення твердих дрібних частинок, включають, не вичерпуючи вказаний список, індукційну плавку, плазмову дугову плавку і подібні їм. Наприклад, в індукційній плавці, первинний електричний провідник у вигляді котушки може оточувати брусок металевого матеріалу, що подається. Пропускаючи електричний струм через первинний провідник, в бруску індукується вторинний електричний струм завдяки електромагнітній індукції. Вторинний струм нагріває брусок до температури, вище температури плавлення.

[00122] Фіг. 14-17 ілюструють різні необмежуючі модифікації систем і пристроїв, скомпонованих для здійснення способу утворення твердих дрібних частинок.

[00123] Фіг. 14 схематично ілюструє розпилені і затверділі частинки сплаву, які співударяються і металургійно зчіплюються в отримуваний виріб для утворення твердої заготовки. Вакуумна камера 1410 включає в себе розпилювальний пристрій з електронним пучком 1412. Ряд крапель рідкого сплаву 1414, отриманий за допомогою плавильного пристрою (не показано), який може бути, наприклад, одним з різних плавильних пристроїв, обговорюваних вище, переходить в розпилювальний пристрій 1412. Розпилювальний пристрій 1412 утворює розпилені частинки сплаву 1416, які проходять через, взаємодіють з і піддаються впливу електромагнітного і/або електростатичного поля(-ів) 1413, отриманих в апараті для утворення поля з електромагнітними котушками 1417 (показано не повністю). Котушки 1417 встановлені для утворення поля(-ів) в області 1418 нижньої частини потоку розпилювального пристрою 1412. Розпилені частинки сплаву 1416 тверднуть, виходячи з розпилювального пристрою 1412, вдаряються і металургійно зчіплюються разом для отримання твердої заготовки.

[00124] Фіг. 15 схематично ілюструє отримання злитка з дрібних твердих частинок, отриманих з розпиленого рідкого і затверділого сплаву розпиленням електронним пучком. Вакуумна камера 1510 включає в себе плавильний пристрій (не показано) і розпилювальний пристрій з електронним пучком 1512. Плавильний пристрій може бути, наприклад, одним з різних плавильних пристроїв, обговорюваних вище. Краплі рідкого сплаву 1514, отриманого за допомогою плавильного пристрою (не показано), проходять в розпилювальний пристрій 1512. Краплі рідкого сплаву 1514 розпилюються в розпилювальному пристрої 1512, утворюючи аерозоль з розпиленних частинок сплаву 1516.

[00125] Розпилені частинки сплаву 1516 проходять через, взаємодіють з і піддаються впливу одного або більше електромагнітного і/або електростатичного полів (не вказано), отриманих пластинами 1518 апарату для утворення поля. Пластини 1518 з'єднані з джерелом струму (не показано) проводами, що проходять через стінки камери 1510. Розпилені частинки сплаву 1516 тверднуть, співударяючись на обертових пластинах збірника 1524 під впливом поля(-ів), отриманих за допомогою апарата для утворення поля з метою утворення твердої заготовки 1525. Обертova пластина збірника 1524 може бути прибрана вниз на рівень, який підтримує осідання поверхні розділу на переважно постійній відстані від розпилювального пристрою. Щоб підвищити вихід продукту і покращити щільність осідання, пластины збірника 1524 можуть бути заряджені до високого позитивного потенціалу, наближаючи пластины 1524 до джерела струму (не показано) проводами 1526, які проходять через стінку камери 1510.

[00126] Фіг. 16 схематично ілюструє модифікацію пристрою або системи, скомпонованої для здійснення способу утворення твердих дрібних частинок, у якому розпилені частинки рідкого сплаву тверднуть і вдаряються у збірник/виріб у першій камері пристрою. Вакуумна камера 1610 включає в себе плавильний пристрій (не показано) і розпилювальний пристрій з електронним пучком 1612. Плавильний пристрій може бути, наприклад, одним з різних плавильних пристроїв, обговорюваних вище. Ряд крапель рідкого сплаву 1614, отриманий за допомогою плавильного пристрою (не показано), проходить в розпилювальний пристрій 1612. Краплі рідкого сплаву 1614 розпилюються в розпилювальному пристрої 1612 для утворення частинок сплаву 1616. Частинки сплаву 1616 проходять через, взаємодіють з і піддаються впливу одного або більше електромагнітного і/або електростатичного полів 1618, отриманих електромагнітними

котушками 1620 (показані не повністю) апарату для утворення поля. Розпилені частинки 1616 тверднуть і спрямовуються у збірник у формі контейнера 1621 під впливом поля 1618.

[00127] Частинки затверділого сплаву співударяються з виробом 1625, утворюючи контейнер 1621, деформуються і металургійно зчіплюються у виріб 1625, формуючи тверду заготовку. Коли тверда заготовка сформована, вона може переноситися в камеру 1626, яка може бути загерметизована вакуумним замком 1628. Контейнер 1621 і заготовка можуть бути ізольовані від атмосфери через другий вакуумний замок 1630 для термомеханічної обробки відповідно до відомих способів. Необов'язково, пристрій Фіг. 16 може включати апарат для підведення тепла, такий як в загальному вигляді описано вище, скомпонований для відводу тепла від розпилених частинок рідкого сплаву і утворення частинок затверділого сплаву. Також, необов'язково, контейнер 1621 може бути електрично з'єднаний з джерелом струму 1624 проводом 1622 і підтримувати позитивний потенціал у той час, як негативно заряджені тверді частинки 1616 співударяються в контейнері 1621. Провід 1622 може бути віддалено від'єднаний від контейнера 1621 перед тим, як перемістити контейнер в камеру 1626.

[00128] Фіг. 17 схематично ілюструє необмежуючу модифікацію пристрою або системи 5 1700, скомпонованих для здійснення способу утворення твердих дрібних частинок. На Фіг. 17 виріб з дрібних твердих частинок отримують у ливарній формі напыленням аерозолі частинок затверділого сплаву, отриманих затвердінням частинок рідкого сплаву за допомогою розпилення електронним пучком. Вакуумна камера 1710 включає в себе елементи, такі як плавильний пристрій (не показано) і розпилювальний пристрій з електронним пучком 1712. Плавильний пристрій може бути, наприклад, одним з різних плавильних пристроїв, обговорюваних вище. Ряд крапель рідкого сплаву 1714, отриманого за допомогою плавильного пристрою, проходить в розпилювальний пристрій 1712. Краплі рідкого сплаву 1714 розпилюються в розпилювальному пристрої 1712 для утворення аерозолі з розпилених частинок сплаву 1716. Розпилені частинки сплаву 1716 проходять через, взаємодіють з і піддаються впливу одного або більше електромагнітних і/або електростатичних полів 1718, отриманих за допомогою електрично заряджених котушок 1720 (показано не повністю) апарату для утворення поля. Розпилений матеріал 1716 твердне і спрямовується в ливарну форму 1724 під впливом поля, 1718, отриманого за допомогою апарату для утворення поля, і в результаті утворення дрібних твердих частинок виробу 1730 виводяться з ливарної форми 1724 перетинанням внизу основи ливарної форми (не показано). Необов'язково, основа ливарної форми може бути скомпонована для обертання або в іншому випадку для переміщення.

[00129] У альтернативній необмежуючій модифікації пристрою 1700, показаного на Фіг. 17А, встановлені джерела струму 1732 створюють різницю потенціалів так, що створюють нерівноважну плазму між електродами 1734. Теплота передається плазмою від затверділих частинок сплаву і/або поверхні твердого виробу 1730 до електродів 1734, які охолоджуються діелектричною рідиною, яка циркулює через теплообмінники 1736 і електроди 1734.

[00130] Фіг. 18 ілюструє необмежуючу модифікацію способу утворення твердих дрібних частинок, який може бути здійснено з використанням системи та пристрою, описаних у цьому винаході. Сировина для сплаву 1801 плавиться на стадії плавки 1805 для утворення, щонайменше, одного потоку рідкого сплаву і ряду крапель рідкого сплаву. Стадія плавки 1805 може включати множинні послідовні під-стадії плавки, рафінування і переплавлення. Наприклад, сировина для сплаву може включати брухт, губку, повторно використовувані і/або вперше використовувані джерела основних металів та елементів сплавів, якщо можливо, які плавляться з утворенням початкового розплаву. Початковий розплав може бути отриманий з використанням ВДП, плазмової дугової плавки, плавки електронним пучком, або будь-яким іншим відповідним способом плавки.

[00131] Хімічний склад початкового розплаву може бути проаналізований і змінений, якщо необхідно досягнути попередньо заданого складу елементів. Як тільки прийнятний хімічний склад розплаву буде досягнутий, розплав може бути відлитий у споживаний електрод, для подальшого рафінування і/або переплавки або використовуватися для утворення, щонайменше, одного потоку рідкого сплаву і ряду крапель рідкого сплаву. У різних модифікаціях, сировина для сплаву може включати споживаний електрод або інший витратний (витрачуваний) виріб з прийнятним хімічним складом сплаву, який плавиться, для утворення, щонайменше, одного потоку рідкого сплаву і ряду крапель рідкого сплаву.

[00132] Як зазначено вище, у якості використаного в цьому винаході, термін "сплав" стосується як чистих металів, так і сплавів і включає, наприклад, залізо, кобальт, нікель, алюміній, титан, ніобій, цирконій, і сплави на основі будь-якого із зазначених металів, таких як нержавіючі сталі, суперсплави на основі нікелю, суперсплави на основі кобальту, алюмініди титану, нікель-титанові сплави і подібні до них. Необмежуючі приклади суперсплавів на основі

нікелю, які можуть перероблятися згідно модифікаціями, описаними в цьому винаході, включають, не вичерпуючи вказаний список, сплав IN 100 (UNS 13100), сплав Rene 88 TM, сплав 720, сплав 718 (UNS 07718) і сплав 718Plus™ (UNS 07818) (доступний на ринку як продукт ATI Allvac, Monroe, North Carolina, USA). Необмежуючі приклади титанових сплавів, які

5 можуть бути перероблені згідно з модифікаціями, описаними в цьому винаході, включають, не вичерпуючи вказаний список, сплав Ti-6Al-4V, сплав T-17, сплав Ti-5-5-3, сплави Ti-Ni, а також сплави Ti-Al.

[00133] Щонайменше, один з потоку рідкого сплаву і ряду крапель рідкого сплаву розпилюється на стадії 1810 з використанням розпилення електронним пучком. Під час стадії

10 1810, електрони, отримані з джерела електронів, такого, як, наприклад, термоіонний емітер з електронним пучком і/або плазмовий електронний емітер, що випромінює іони, бомбардують, щонайменше, один з потоку рідкого сплаву і ряду крапель рідкого сплаву. Бомбардуючі електрони швидко електростатично заряджають потік рідкого сплаву і/або ряд крапель рідкого сплаву доти, поки сили електростатичного 5 відштовхування не перевищать поверхневий натяг рідкого сплаву і фізично розірвуть потік і/або краплі на частинки рідкого сплаву меншого розміру, розпилюючи таким чином рідкий сплав. Бомбардуючі електрони також утворюють заряджені електрично розпилені частинки рідкого сплаву. Розмір і заряд розпилених частинок рідкого сплаву може регулюватися, наприклад, контролем розміру, форми, і густини потоку електронів, які бомбардують рідкий сплав.

[00134] Розпилені і заряджені електрично частинки рідкого сплаву розганяються на стадії 1815 взаємодією з, щонайменше, одним електричним полем і електромагнітним полем. У різних модифікаціях електростатичне поле, яке встановилося між розпилювальним пристроєм та збірником, взаємодіє з розпиленими, зарядженими електрично частинками, а також із частками сплаву для розгону частинок від розпилювального пристрою до збірника. Величина розгону

20 може регулюватися, наприклад, контролем величини різниці напруг між розпилювальним пристроєм та збірником, що безпосередньо впливає на інтенсивність електростатичного поля.

[00135] Розігнані частинки рідкого сплаву тверднуть на стадії 1820 завдяки охолодженню частинок рідкого сплаву до температури, вище температури переходу сплаву до твердого стану. У якості використаного в цьому винаході, термін "температура переходу до твердого стану" сплаву стосується максимальної температури, за якої сплав знаходиться повністю в

30 твердому стані. На противагу цьому терміну, "температура початку кристалізації розчину" сплаву є максимальною температурою, за якої тверді кристали сплаву співіснують у термодинамічній рівновазі з рідким сплавом. За температур, вище температури початку кристалізації розчину, сплав є повністю рідким, а за температур, рівних або нижче температури переходу до твердого стану, сплав є повністю твердим. За температури, вище температури твердіння і до тавклячно з температурою початку кристалізації розчину, сплав існує в двофазному стані.

[00136] Охолодження розігнаних частинок сплаву до температури, вище температури переходу до твердого стану сплаву забезпечує те, що сплав переходить з рідкого стану до

40 твердого стану до контакту зі збірником. Наприклад, сплав 718, суперсплав на основі нікелю, має температуру початку кристалізації розчину приблизно 1358 °C, а температуру переходу до твердого стану приблизно 1214 °C. Див. Wei-Di Cao, "Тверднення і перетворення станів твердої фази сплаву Allvac® 718Plus TM" Journal of the Minerals, Metals & Materials Society, 05, який включений посиланням в цей опис винаходу. Таким чином, у необмежуючій модифікації, у якій сплав 718 утворюється з дрібних твердих частинок, розігнані частинки рідкого сплаву 718

45 можуть охолоджуватися до температури, вище 1214 °C, для затвердіння частинок перед контактом зі збірником.

[00137] У різних модифікаціях, розігнані частинки рідкого сплаву охолоджуються до температури, вище температури переходу до твердого стану (T_S) сплаву і більше 0,50

50 температури переходу до твердого стану (0,50 * T_S). Охолодження частинки рідкого сплаву до температури в межах 0,50 * T_S-T_S може забезпечити процес, якщо частинки значною мірою затверділи, але досить м'які, щоб деформуватися під час зіткнення з підкладкою і металургійно зчіплюються до твердого стану (тобто як зварювальний шов у твердому стані) для утворення одиничної і монолітної твердої заготовки. Наприклад, межа міцності, 2 % межі текучості, а також

55 твердість сплаву 718 знижується (тобто сплав стає м'яким) за більш високої швидкості за температур, приблизно понад 600 °C, що становлять приблизно 0, 50 температури переходу сплаву у твердий стан.

[00138] У різних модифікаціях розігнані частинки рідкого сплаву охолоджуються до температури 0,50 * T_S-T_S, або будь-якого підряду, віднесеного до даного діапазону в цьому

винаході, такого як, наприклад, $0,50 * T S - 0,99 * T S$, $0,50 * T S - 0,95 * T S$, $0,60 * T S - 0,95 * T S$, $0,70 * T S - 0,95 * T S$, $0,80 * T S - 0,95 * T S$, або $0,90 * T S - 0,99 * T S$.

[00139] У різних модифікаціях відстань між розпилювальним пристроєм та збірником, через яку частинки рідкого сплаву розганяються, попередньо задано так, щоб частинки рідкого сплаву втрачали достатню кількість теплової енергії через теплопровідність, конвекцію і/або випромінювання, щоб частинки тверднули до контакту зі збірником. У різних модифікаціях нерівноважну плазму отримують в потоці розігнаних частинок рідкого сплаву для активної передачі теплової енергії від рідкої частинки, щоб частинки тверднули до контакту зі збірником.

[00140] У різних модифікаціях розігнані частинки рідкого сплаву рухаються через зону термічного контролю у пристрої або системі, скомпонованій для здійснення способу утворення твердих дрібних частинок. Зона термічного контролю може включати пристрої теплопереносу для активного відведення тепла від частинки сплаву або для збільшення швидкості тепловіддачі завдяки теплопровідності, конвекції, і/або випромінюванню в навколишнє середовище у зоні термічного контролю. Наприклад, зона термічного контролю може включати пристрої, такі як охолоджуючі котушки для підтримання температури нижче температурного навколишнього середовища в зоні термічного контролю, яка встановлює вищий температурний градієнт між частинками рідкого сплаву і навколишнім середовищем. Вищий температурний градієнт може корелюватися з вищою швидкістю тепловіддачі частинки рідкого сплаву, яка дозволяє більш ефективно і/або результативно тверднення до контакту зі збірником.

[00141] Частинки затверділого сплаву співударяються з підкладкою на стадії утворення дрібних твердих частинок заготовки сплаву. У різних модифікаціях, підкладка може включати збірник, такий як, наприклад, пластину, циліндр, оправлення, контейнер, камеру, ливарну форму або іншу поверхню. У різних модифікаціях, підкладка може включати отримуваний виріб або заготовку, утворену з частинок затверділого сплаву, які співударяються з початковою поверхнею збірника. Таким же чином, співударяння частинок затверділого сплаву додатково створює виріб і формує заготовку.

[00142] У різних модифікаціях, частинки затверділого сплаву співударяються з підкладкою після охолодження до температури, вище температури переходу до твердого стану сплаву, такої як, наприклад, температура $0,50 * T S - T S$, або будь-якого підряду, віднесеного до даного діапазону в цьому винаході. Зіткнення частинок затверділого сплаву за температури не вище температури переходу до твердого стану сплаву, наприклад, за температури $0,50 * T S - T S$, може забезпечити той факт, що частинки істотно тверднуть, однак є досить м'якими, щоб деформуватися під час зіткнення з підкладкою і металургійно зв'язуватись у твердому стані, даючи одиничну і монолітну тверду заготовку.

[00143] У різних модифікаціях початковий збірник може включати твердий виріб, отриманий з того ж або зі схожого сплаву, що і сплав, утворений з розпилених і затверділих частинок. Це може забезпечити той факт, що частинки затверділого сплаву, які співударяються, є металургійно сумісними з початковим збірником, щоб частинки затверділого сплаву могли зв'язуватися металургійно з підкладкою, і одна з одною, 5 утворюючи одиничну і монолітну заготовку. У різних модифікаціях, матеріал, який утворює початковий збірник, може бути видалений із заготовки сплаву утворених дрібних твердих частинок за допомогою різання, шліфування, або іншим подібним способом.

[00144] Фіг. 19A-19F разом ілюструють необмежувачий варіант реалізації способу утворення твердих дрібних частинок і систему 1900. Відповідно до Фіг. 19A, плавильний пристрій для сплаву 1910 утворює ряд крапель 1915 рідкого сплаву, проте, мається на увазі, що плавильний пристрій для сплаву 1910 може утворювати потік рідкого сплаву і/або ряд крапель рідкого сплаву. Розпилювальний пристрій 1920 утворює потік електронів 1925, який перетинає шлях краплі рідкого сплаву 1915, яка проходить через систему утворення твердих дрібних частинок 1900 від плавильного пристрою 1910 до підкладки 1930.

[00145] Відповідно до Фіг. 19B, електрони, включаючи потік електронів 1925, бомбардують частинки рідкого сплаву 1915, а також швидко електростатично заряджають частинки 1915 до виходу за границю Релєєвської межі. Краплі розпилюються до частинок рідкого сплаву меншого розміру 1935. Розпилені частинки рідкого сплаву 1935 мають результуючий негативний електричний заряд внаслідок бомбардування електронами. Розпилені частинки рідкого сплаву 1935 можуть утворюватися завдяки каскадному ефекту, за якого краплі рідкого сплаву 1915 розпадаються на дрібніші частинки, дрібніші частинки перезаряджаються бомбардуванням електронами до негативного потенціалу і розпадаються на ще дрібніші частинки, а процес повторюється весь час, протягом якого електрони успішно приєднуються до дрібніших розпиленних частинок. Як альтернатива або додатково, розпилені частинки рідкого сплаву 1935 можуть бути послідовно зняті з поверхні краплі рідкого сплаву 1159. Незалежно від фізичного

механізму розпилення, краплі рідкого сплаву 19 піддаються бомбардуванню потоком електронів 1915 протягом часу, достатнього для того, щоб необхідний негативний заряд накопичився і розірвав сплав на розпилені частинки рідкого сплаву 1935.

[00146] Відповідно до Фіг. 19C, розпилені і заряджені електрично частинки рідкого сплаву 1935 розганяються, щонайменше, одним електричним полем і електромагнітним полем 1940. Поле 1940, скомпоноване для контролю розгону, прискорення, і/або спрямовування розпилених і заряджених електрично частинок рідкого сплаву 1935 для того, щоб частинки рухалися через систему утворення твердих дрібних частинок 1900 з розпилювального пристрою 1920 до підкладки 1930 регульованим способом.

[00147] Відповідно до Фіг. 19D, розпилені і заряджені електрично частинки рідкого сплаву 1935 охолоджуються до температури, вище температури переходу до твердого стану сплаву так, щоб частинки рідкого сплаву 1935 тверднули, поки розганяються і утворюють частинки затверділого сплаву 1945. Частинки сплаву 1935/1945 охолоджуються і тверднуть до контакту з підкладкою 1930. Фіг. 19D ілюструє зону термічного контролю, яка включає котушки охолодження 1950. Охолоджуюча рідина перетікає через котушки охолодження для підтримання нижчої температури в зоні термічного контролю, яка встановлює вищий температурний градієнт між частинками рідкого сплаву 1935 і навколишнім середовищем. Вищий температурний градієнт може корелюватися з вищою швидкістю тепловіддачі від частинки рідкого сплаву 1935, яка дозволяє більш ефективно і/або результативно тверднення частинок затверділого сплаву 1945 до контакту з підкладкою 1930.

[00148] Мається на увазі, однак, що різні засоби охолодження можуть бути використані в зоні термічного контролю в системі утворення твердих дрібних частинок 1900. Наприклад, апарат утворення нерівноважної плазми, як описано в цьому винаході, може використовуватися для охолодження й тверднення частинок рідкого сплаву 1935. Як альтернатива, або додатково, відстань (d) між розпилювальним пристроєм 1920 і підкладкою 1930 може бути скомпоновано відповідно до регульованих розмірів розпилених частинок і регульованих розгоном частинок, щоб викликати тверднення без змін температури нагрівання або охолодження в зоні термічного контролю.

[00149] Відповідно до Фіг. 19E, частинки затверділого сплаву 1945 співударяються з підкладкою 1930, яка включає збірник, що має позитивну електричну поляризацію, як описано в цьому винаході. Частинки затверділого сплаву 1945, що співударяються, деформуються і металургійно зчіплюються з підкладкою 1930, формуючи отримуваний виріб 1955. Відповідно до Фіг. 19F, частинки затверділого сплаву 1945 продовжують співударятись з підкладкою яка включає отримуваний виріб деформуються і металургійно зчіплюються з підкладкою і одна з одною, утворюючи одиничну і монолітну заготовку твердого сплаву.

[00150] Один або більше різних компонентів системи утворення твердих дрібних частинок 1900, проілюстрованої на Фіг. 19A-19-F, може бути розміщений у вакуумній судині або множинних функціонально з'єднаних вакуумних судинах. У різних необмежуваних модифікаціях значна різниця напруг може бути встановлена між позитивно зміщеною підкладкою і негативно зміщеним розпилювальним пристроєм, що може сприяти розгону розпилених частинок рідкого сплаву і охолодженню частинок затверділого сплаву. Величина різниці напруг може корелюватися з отриманою швидкістю розгону і зіткнення частинок сплаву.

[00151] У різних модифікаціях, температура частинок затверділого сплаву під час зіткнення і швидкість зіткнення частинок затверділого сплаву є важливими робочими характеристиками, які впливають на отриманий виріб/заготовку. Контроль зазначених робочих характеристик може здійснюватися за допомогою контролю розміру розпилених частинок, електростатичної напруги розгону, відстані між розпилювальним пристроєм і підкладкою і/або зміною температури нагрівання або охолодження зони термічного контролю між розпилювальним пристроєм і підкладкою.

[0152] Додатково, аспекти початкових операцій плавки можуть показувати різні недоліки всього способу утворення твердих дрібних частинок. Початкові операції плавки включають підготовку відповідних матеріалів завантаження, а потім плавку завантаження. Рідке завантаження або "розплав" може бути очищений і/або оброблений з метою змінити хімічний склад розплаву і/або видалити небажані компоненти з розплаву. Плавильні печі можуть бути оснащені засобами, що включають електрику і спалювання палива і на вибір відповідного пристрою значною мірою впливають на відносні витрати і відповідність вимогам охорони навколишнього середовища, а також найменування підготовлених матеріалів. Загальна класифікація способів плавки включає, наприклад, індукційну плавку у тому числі вакуумно-індукційну плавку, дугову плавку у тому числі вакуумно-дугову гарнісажну плавку, тигельну плавку, а також плавку електронним пучком.

[00153] Розплави, отримані у футерованих керамікою печах, можуть забруднюватися оксидами. Розроблено різні способи плавки, які використовують вакуумне середовище і не використовують футеровану керамікою піч. Дані способи призводять до значно меншого оксидного забруднення розплаву, порівняно з отриманням розплаву в традиційній футерованій керамікою печі. Приклади таких способів включають, 5 наприклад, плавку електронним пучком (ЕП), вакуумно-дуговий переплав (ВДП), вакуумну переплавку з подвійним електродом (ВППЕ), і електрошлакове рафінування/переплавку (ЕШП). Способи ВДП, ВППЕ, і ЕШП описані, наприклад, в патентах США №. 4261412; 5325906; і 5348566; які включені посиланнями в цей опис винаходу.

[00154] Плавка електронним пучком включає використання термоіонної гармати для утворення електронних пучків з метою утворення значною мірою лінійних потоків електронів з високою енергією, які використовуються для нагрівання цільових матеріалів. Термоіонні гармати для утворення електронних пучків працюють завдяки струму, що проходить ниткою розжарювання, таким чином нагріває нитку розжарювання до високої температури і змушує електрони "випаровуватися" з нитки розжарювання. Електрони, отримані з нитки розжарювання, фокусуються і розганяються до цілі у формі дуже вузького (практично двовимірного), значною мірою лінійного електронного пучка. Тип іонної плазмової гармати для утворення електронного пучка також використовується для підготовки розплаву. Більш докладно гармата з "тілючим розрядом" для утворення електронного пучка, описана в VA Chernov, "Powerful High-Voltage Glow Discharge Electron Gun and Power Unit on Its Base (Потужна електронна гармата високої напруги з тілючим розрядом і блок живлення на її основі)" 1994 Intern. Conf. on Electron Beam Melting (Reno, Nevada), ст. 9-267, включена в опис певних плавильних печей, доступних на ринку продуктів Antares, Київ, Україна. Такі пристрої працюють, утворюючи холодну плазму, яка включає катіони, що бомбардують катод і утворюють електрони, які фокусують з метою утворення переважно двовимірного, лінійного електронного пучка.

[00155] Значною мірою (переважно) лінійні електронні пучки, отримані за допомогою вищезгаданих типів гармат для утворення електронних пучків, можуть бути спрямовані у вакуумовану камеру плавки печі плавки електронним пучком і бомбардувати матеріал, який необхідно розплавити і/або підтримувати в рідкому стані. Проходження електронів через електропровідні матеріали швидко нагріває їх до температури, зокрема вище температури плавлення. Через високу енергію значною мірою лінійних електронних пучків, яка може становити, наприклад, близько 100 кВ/см², лінійні гармати для утворення електронних пучків є джерелами утворення високих температур нагрівання, 5 легко можуть перевищувати температури плавлення і, у деяких випадках, температури випаровування матеріалів, які бомбардуються значною мірою лінійними променями. Використовуючи магнітне відхилення або схожі засоби зміни напрямку, значною мірою лінійні електронні пучки можуть рухатися з високою частотою поперек цільових матеріалів у камері плавки, даючи можливість пучку бути спрямованим поперек широкої області і впоперек цілей, що мають множинні і складні форми.

[00156] Спосіб плавки електронним пучком з охолодженням черенем печі може бути використаний у способі утворення твердих дрібних частинок, системах і пристроях, описаних в цьому винаході. Вихідний матеріал може бути розплавленим до крапель, отриманих бомбардуванням бруска вихідного матеріалу значною мірою лінійним електронним пучком. Розплавлений вихідний матеріал затікає в кінцеву частину мідного, охолоджуваного водою череня печі, утворюючи захисний настиль. Оскільки розплавлений матеріал збирається у черені печі, він переливається і падає під дією сили тяжіння у розпилювальний пристрій. Під час витримки в черені печі матеріалу рідкого сплаву, значною мірою лінійні електронні пучки можуть швидко рухатися поперек поверхні матеріалу, утримуючи його у формі розплаву. Це також створює ефекти дегазації та рафінування матеріалу рідкого сплаву завдяки випаровуванню компонентів з високим тиском насиченої пари. Черень печі також може бути підігнано за розміром так, щоб сприяти розділенню твердих включень з високою густиною і низькою густиною за допомогою сили тяжіння, за якого випадкові оксиди та інші включення з відносно низькою густиною залишаються в рідкому металі на час, достатній для розчинення, поки частинки з високою густиною осідають на дно і захоплюються настилем.

[00157] Способи плавки, що є придатними для використання в процесах утворення твердих дрібних частинок, у системах і пристрої, описаних в цьому винаході, також включають способи плавки електронним пучком з охолодженням черенем печі, які включають, випромінюючи іони плазмові електронні емітери. Дані способи описані, наприклад, в Патенті США № 7803211 і у №№ публікацій Патенту США 2008/0237200 та 2010/0012629, які включені посиланнями в цей опис винаходу.

[00158] Використовуваний в цьому винаході, термін "випромінюючий іони плазмовий електронний емітер" стосується пристрою, який створює відносно широкий, тривимірний потік електронів, який бомбардує позитивно заряджені іони катода і таким чином 5 вивільняє електрони катода. Електронний пучок, отриманий за допомогою плазмового електронного емітера, що випромінює іони, не є двовимірним пучком, а, навпаки, є тривимірним полем або "поток" електронів, який, коли бомбардує ціль, покриває двовимірну область поверхні цілі, що є досить великою, порівняно з дрібною точкою, яку бомбардує значною мірою лінійний електронний пучок на цілі. По суті, потік електронів, отриманий плазмовим електронним емітером, що випромінює іони, і стосується в цьому винаході "широкосмугового" потоку електронів, посиляючись на відносно набагато дрібніші точки контакту, отримані типовими електронними гарматами, які використовуються в печах плавки електронним пучком. Плазмові електронні емітери, що випромінюють іони, які застосовуються у незв'язаних прикладних задачах, стосуються різним чином, наприклад, "дротяних іонних плазмових (ДІП) електронних" гармат або емітера, "ДІП електронних" гармат або емітерів і, до деякої міри несподівано, до 15 "лінійних емітерів з електронним пучком" (посиляючись на лінійну природу утворюючого плазму дроту електрода(ів) у різних модифікаціях пристроїв).

[00159] Плазмові електронні емітери, що випромінюють іони, доступні в різних видах, проте, усі такі емітери мають певні конструктивні ознаки. Кожен такий емітер має плазмову або іонізаційну область, яка включає джерело позитивних іонів у формі продовгуватого дротяного анода для утворення плазми, що включає катіони, а також катод, який розташований на певній відстані і встановлений для перехоплення позитивних іонів, що генеруються за допомогою дроту. Значна негативна напруга прикладається до катода, викликаючи поділ позитивних іонів у плазмі, що генерується за допомогою дроту джерела позитивних іонів, щоб розігнати і зіштовхнути з поверхнею катода так, що вторинні електрони випускаються катодом ("первинні" електрони присутні у плазмі разом з позитивними іонами). Вторинні електрони, отримані на 25 поверхні катода, формують потік електронів, який, як правило, має тривимірну форму позитивних іонів плазми, бомбардують катод. Вторинні електрони розганяються поблизу катода в напрямку до анода, переносючи кілька зіткнень в процесі проходження через газ низького тиску в емітері.

[00160] Скомпоновувавши відповідним чином різні елементи плазмового електронного емітера, що випромінює іони, широке поле вторинних електронів з достатньою енергією може формуватися на катоді і розганятися від емітера цілі. Фіг. 20 є спрощеним описом 5 компонентів плазмового іонного електронного емітера з дротовим розрядом, у якому струм подається на тонкий дротяний анод 12 для генерування плазми 14. Позитивні іони 16 у плазмі 14 розганяють і співударяються з негативно зарядженим катодом 18, вивільняючи на великій площі хмару вторинних електронів 20, які розганяються в напрямку анода 12 завдяки впливу електричного поля між електродами і ціллю.

[00161] У різних необмежуваних модифікаціях система або пристрій, скомпоновані для здійснення способу утворення твердих дрібних частинок, може включати плавильний пристрій 40 для плавки, у якому є камера з регульованим тиском (плавильна камера), а також черинь печі, розташований у плавильній камері і скомпонований для підтримки сплаву рідким. Щонайменше, один плазмовий електронний емітер, що випромінює іони, може бути розташований у або біля плавильної камери і може бути встановлений для спрямовування тривимірного, ширококутового потоку електронів, що генерується за допомогою емітера в камері. Плазмовий електронний емітер, що випромінює іони, створює тривимірний потік електронів, що має достатню енергію для нагрівання електропровідного сплаву до його температури плавлення.

[00162] У різних необмежуваних модифікаціях розпилювальний пристрій скомпоновано так, щоб отримати, щонайменше, один потік або ряд крапель рідкого сплаву з череня печі. Плавильний пристрій може використовуватися для плавки будь-якого сплаву, який може бути розплавлений з використанням типової плавильної печі з електронним пучком, таких як, наприклад, сплави на основі алюмінію, танталу, титану, вольфраму, ніобію, цирконію, нікелю, заліза, а також кобальту. У різних необмежуваних модифікаціях плавильний пристрій скомпоновано для плавки матеріалів, що містять заряд, які доповнюють хімічний склад суперсплавів на основі кобальту або суперсплавів на основі нікелю. У різних інших необмежуваних модифікаціях, плавильний пристрій скомпоновано для плавки заготовленого злитка сплаву або іншої структури, який може бути попередньо отриманий і оброблений, наприклад, одним або більше способами ВІП, ВДП, а також ЕШП.

[00163] Плавильний пристрій може мати один або більше механізмів подачі матеріалу, пристосованих для введення електропровідних металів або інших добавок сплавів у камеру плавки. Типи механізмів подачі можуть включати, наприклад, механізми подачі 5 брусків і

механізми подачі дроту, а також обраний тип механізму подачі, який буде залежати від вимог до конструкції печі. Механізм подачі матеріалу і, щонайменше, один плазмовий електронний емітер, що випромінює іони, плавильного пристрою можуть бути скомпоновані так, щоб потік електронів, який випускається за допомогою плазмового електронного емітера, що випромінює іони, щонайменше, частково бомбардував матеріал, що вводиться в камеру за допомогою механізму подачі. Якщо матеріал, який вводиться в камеру плавки за допомогою механізму подачі, проводить електричний струм, потік електронів може нагрівати і плавити матеріал.

[00164] Черінь печі, включений до плавильного пристрою, може бути відібрано з різних видів черенів печі, відомих з сучасного рівня техніки. Наприклад, плавильний пристрій може бути в свою чергу плавильною піччю з електронним пучком і охолоджуваним черенем печі, включаючи охолоджуваний черінь печі або, точніше, наприклад, мідний охолоджуваний водою охолоджуваний черінь печі в плавильній камері. Як відомо навіть фахівцям середнього рівня, охолоджуваний черінь печі містить засоби охолодження, що викликають замерзання розплавленого матеріалу в черені печі з утворенням поверхні в черені печі і формуванням захисного шару або гарнісажу. Відповідно до іншого необмежуючого прикладу, черінь печі може містити "автогенний" черінь печі, що є черенем печі, покритим або виконаним зі сплаву, який плавиться в печі, у якій поверхня дна череня печі також може охолоджуватися водою для запобігання пропалювання.

[00165] Певний черінь печі, який входить до плавильної камери, може містити область утримання розплавленого матеріалу, у якій розплавлений матеріал знаходиться певний час витримки перед тим, як спрямовуватись до нижньої частини потоку розпилювального пристрою в каналі для руху флюїдів з плавильної камери. Черінь печі і, щонайменше, один плазмовий електронний емітер, що випромінює іони, може бути встановлено в плавильному пристрої для того, щоб потік електронів, що випромінюються за допомогою випромінюючого іони плазмового електронного емітера, щонайменше, частково бомбардував область утримання розплавленого матеріалу. Таким же чином, потік електронів може бути застосований для утримання матеріалу сплаву в рідкому стані в області утримання розплавленого матеріалу.

[00166] У різних модифікаціях плавильний пристрій містить камеру плавки з 5 регульованим тиском і черінь печі, розміщений в камері плавки з регульованим тиском, де черінь печі включає область утримання розплавленого матеріалу. Плавильний пристрій може додатково містити один або більше плазмових електронних емітерів, що випромінюють іони, розташованих у або поруч з камерою плавки з регульованим тиском. Черінь печі і, щонайменше, один плазмовий електронний емітер, що випромінює іони, встановлені так, що потік електронів, отриманий за допомогою емітера, щонайменше, частково бомбардує область утримання розплавленого матеріалу. Розпилювальний пристрій в каналі для руху флюїдів камери плавки з регульованим тиском може бути встановлено для отримання розплавленого матеріалу з череня печі. Щонайменше, один механізм подачі може бути включений в піч і може бути скомпонований для введення матеріалу в камеру плавки з регульованим тиском в позиції над, щонайменше, однією областю череня печі.

[00167] Будь-який прийнятний плазмовий електронний емітер, що випромінює іони, може використовуватися в системах і пристрої, скомпонованих для здійснення способу утворення твердих дрібних частинок. Відповідні модифікації плазмових електронних емітерів, що випромінюють іони, описані, наприклад, у патенті США № № 4025818; 4642522; 4694222; 4755722; а також 4786844, які включені у якості посилання цей до цього опису винаходу. Відповідними емітерами є такі, які здатні створювати тривимірний, ширококутовий потік електронів, який може бути направлений в камеру плавки печі і, який буде електрично нагрівати сировину, здатну проводити електричний струм, розміщену в камері плавки, до заданої температури. Відповідними емітерами є також ті, що здатні створювати тривимірний, ширококутовий потік, який може бути направлений в камеру розпилення і розпилювати матеріал рідкого сплаву, як обговорювалося вище.

[00168] У різних, необмежуваних модифікаціях плазмового електронного емітера, що випромінює іони, емітер має плазмову область і катодну область. Плазмова область містить, щонайменше, один продовгуватий дротяний анод, пристосований для утворення плазми, яка містить позитивні іони. Катодна область містить катод, який електрично з'єднаний з джерелом струму високої напруги, пристосований для зарядки катода негативно. У плазмовому електронному емітері, що випромінює іони, електрод, який використовується для утворення плазми, може бути одним дротом або кількома дротами, встановленими вздовж плазмової області. Щонайменше, частина катода, яка піддається впливу позитивних іонів, складається з матеріалу, придатного для генерування електронів. Різні необмежувачі модифікації катода, розташованого в катодній області емітера, також можуть включати вставку, таку, як, наприклад,

молібденову вставку, що має високу температуру плавлення і низьку роботу виходу, що сприяє генеруванню електронів. Катод і анод встановлені відносно один одного так, що позитивні іони в плазмі, що генеруються за допомогою дровового анода, розганяються в напрямку до і бомбардують катод під впливом електричного поля між електродами, вивільняючи

широкосмуговий потік вторинних електронів з катода.

[00169] Різні необмежуючі модифікації випромінюючого іони плазмового електронного емітера містять, щонайменше, одне відповідне вікно, що пропускає електрони, таке, як тонка титанова або алюмінієва фольга, що пропускає електрони, яка покриває стінку камери плавки і/або камери розпилення. Відповідні вікна, які пропускають електрони, можуть також включати, наприклад, вікна, що містять нітрид бору або вуглецеві (напр., алмаз) матеріали. Вікна, що пропускають електрони можуть додатково включати матеріали, що містять елементи з низькими порядковими номерами атомів, як правило, відомі з сучасних джерел як здатні пропускати електрони. Різні необмежуючі модифікації плазмового електронного емітера, що випромінює іони, не включають вікно, що пропускає електрони, у випадку якого плазмова область емітера рідинно з'єднана з камерою плавки і/або камерою розпилення. У тому ж випадку широкосмуговий потік електронів входить в камеру плавки і/або камеру розпилення і може бомбардувати матеріал у камері(-ах). У різних необмежуючих модифікаціях плазмовий електронний емітер, що випромінює іони, може переміщуватися для збільшення обсягу широкосмугового потоку електронів, отриманого за допомогою емітера.

[00170] Якщо вікно, що пропускає електрони, дійсно відокремлює внутрішній простір електронного емітера від камери плавки або камери розпилення, потік електронів проходить через вікно так, як він спроектований, з електронного емітера в камеру. У різних необмежуючих модифікаціях плазмового електронного емітера, що випромінює іони, джерело струму високої напруги, електрично спарене з катодом, подає на катод негативну напругу понад 000 вольт. Негативна напруга є функцією розгону позитивних іонів у плазмі до катода, а також відкидання потоку вторинних електронів від катода і анода.

[00171] Вікно, що пропускає електрони, може бути необхідним у випадку, якщо тиск у плазмовому електронному емітері, що випромінює іони, значно відрізняється від тиску в камері плавки і/або камері розпилення, у випадку якого вікно з фольги служить для ізоляції двох суміжних областей, що відрізняються тиском. Перевага плазмових електронних емітерів, що випромінюють іони, порівняно з електронними емітерами, що не містять газ, такими, як термоіонні гармати для утворення електронних пучків, полягає в тому, що плазмові електронні емітери, що випромінюють іони, повинні включати газ в плазмовій області, що служить джерелом плазми. Хоча плазмові електронні емітери, що випромінюють іони, можуть працювати за дуже низького тиску газу, такі пристрої також можуть працювати ефективно за відносно високих тисків газу.

[00172] Фіг. 21 схематично ілюструє необмежуючу модифікацію плавильного пристрою з електронним пучком. Плавильний пристрій 2210 містить камеру плавки 2214, яка, щонайменше, частково визначається стінкою камери 2215. Плазмові електронні емітери, що випромінюють іони 2216, встановлені зовні і прилягають до камери 2214. Плазмові електронні емітери, що випромінюють іони 2216, проектує широкосмугові потоки електронів 2218 всередину камери 2214. Брусок сплаву 2220 вводиться в камеру 2214 за допомогою механізму подачі бруска 2219. Рідкий сплав 2226 отримують бомбардуванням широкосмуговим потоком електронів 2218, щонайменше, одним плазмовим електронним емітером, що випромінює іони 2216, у бруську сплаву 2220. Рідкий сплав 2226, отриманий з бруска сплаву 2220 капає в охолоджуваний водою мідний черінь печі 2224 і постійно перебуває у черені печі 2224 протягом часу витримки, де він нагрівається, дегазується і очищається одним або більше широкосмуговими потоками електронів 2218, отриманими за допомогою емітерів 2216. Рідкий сплав 2226 остаточно стікає з череня печі 2224 в розпилювальний пристрій 2231, де рідкий сплав розпилюється до частинок сплаву 2232, які піддаються впливу апарату для генерування поля 2230, тверднуть, і співударяються зі збірником 2233.

[00173] Як обговорювалося вище, плазмові електронні емітери, що випромінюють іони, 2216 плавильного пристрою 2210, скомпонованого для генерування поля або "потіку", мають енергію електронів, що покривають велику площу порівняно з плямою, яка покриває, значною мірою лінійний потік, отриманий за допомогою термоіонної гармати для утворення електронного пучка. Емітери для утворення потоку електронів 2216 поширюють електрони на великій площі і бомбардують матеріали, які необхідно розплавити і/або підтримувати в рідкому стані у плавильному пристрої 2210. Подібним чином, плазмові електронні емітери, що випромінюють іони (не показано) можуть створювати широкосмуговий потік електронів у розпилювальному

пристрої 2231, який бомбардує рідкий сплав, отриманий у плавильному пристрої 2210, а також розпилювати рідкий сплав.

[00174] Як зазначено вище, різні необмежуючі модифікації плазмового електронного емітера, що випромінює іони, як правило, включають один або більше продовговатих дротяних анодів, що дають плазму з позитивними іонами, де плазма бомбардує катод для того, щоб генерувати потік вторинних електронів, які можуть розганятися для бомбардування цілі, яку вони нагрівають. Схематичне зображення однієї з конструкцій плазмового електронного емітера, що випромінює іони, показане на Фіг. 22. Емітер 2310 включає область іонізації або плазмову область 2314, у якій отримують плазму з позитивними іонами, і катодну область 2316, яка включає катод 2318. Плазмова область 2314 заповнена іонізованим газом з низьким тиском, а сам газ іонізується у плазмовій області для утворення плазми, що містить катіони. Наприклад, область іонізації 2314 може бути заповнена гелієм, наприклад, під тиском приблизно 20 мТорр.

[00175] Продовговатий дротяний анод малого діаметра 2319 проходить через плазмову камеру 2314. Позитивна напруга прикладається до дротяного анода 2319 джерелом струму 2322, що викликає іонізацію гелію у плазмі, яка включає катіони гелію і вільні електрони ("первинні" електрони). Як тільки починається іонізація гелію, плазма підтримується прикладанням напруги до тонкого дрового анода 2319. Позитивно заряджені іони гелію у плазмі виводяться з іонізаційної камери 2314 через розділяючу решітку 2326, підтримуючи високий негативний електричний потенціал і розганяючись через проріз з високою напругою у катодній області 2316, де катіони у плазмі співударяються з катодом з високою негативною напругою 2318.

[00176] Катод 2318 може бути, наприклад, покритим або непокритим металом або сплавом. Бомбардування катода 2318 іонами гелію вивільняє вторинні електрони з катода 2318. Розрядний проміжок високої напруги 2328 розганяє вторинні електрони в напрямку, протилежному напрямку руху катіонів гелію, через розділяючу решітку 2326 і в плазмову область камери 2314, а потім через тонке металеве вікно з фольги 2329, зроблене з матеріалу, який порівняно легко пропускає електрони. Як зазначено вище, залежно від відносних тисків газів у електронному емітері і камері плавки і/або камері розпилення, можливо не включати вікно з фольги 2329, у разі чого електрони, отримані за допомогою емітера, увійшли б безпосередньо в камеру. Ширококутне тривимірне поле електронів з певною енергією, яке виходить з емітера 2310, може бути направлено для бомбардування цілі, встановленої навпроти вікна з фольги 2329, а також у камері плавки або у камері розпилення.

[00177] Один або більше плазмових електронних емітерів, що випромінюють іони, таких, як, наприклад, емітер 2310, можуть бути встановлені для підтримки потоку електронів в камері плавки печі плавки електронним пучком і/або в камері розпилення розпилювального пристрою з електронним пучком. Як показано на Фіг. 6, необмежуюча модифікація електронно-променевого плавильного пристрою включає один або більше плазмових електронних емітерів, що випромінюють іони 2310, встановлених поряд з камерою плавки 2330. Ширококутний потік електронів 2332 виходить з емітера 2310 через вікно з плівкою 2329 і заповнює, щонайменше, область поверхні рідкого сплаву 2334 у черені печі 2336, таким чином нагріваючи сплав з метою підтримання його в рідкому стані.

[00178] Вікно з плівкою 2329 може бути прибрано, якщо градієнт робочого тиску між емітером 2310 і камерою плавки 2330 не є значним. Камера плавки 2330 може працювати за тиску, вище типового для подальшого зниження або усунення випаровування небажаних елементів, і у такому випадку потреба у вікні з плівкою, що відокремлює електронний емітер від камери плавки буде, знову, залежати від певного градієнта тиску, що застосовується в даній конструкції. Необов'язково, компоненти 2340 для електростатичного і/або електромагнітного контролю ширококутного потоку електронів додаються для того, щоб дозволити додатково поліпшити контроль процесу плавки в камері плавки 2330.

[00179] Хоча Фіг. 6 дає спрощений вигляд модифікації печі плавки з випромінюванням електронів іонів плазми, яка включає одиничний електронний емітер, множинні плазмові електронні емітери, що випромінюють іони, можуть використовуватися в різних необмежуючих модифікаціях. Один або більше плазмових електронних емітерів, що випромінюють іони, може бути включений у такий пристрій для: (1) плавки сировини, яка вводиться в камеру плавки у формі, наприклад, злитка сплаву, плити, бруска, дроту або іншого виду завантаження, і (2) постійної підтримки рідкого сплаву в черені печі за температури, вище температури плавлення сплаву (і, якщо можливо, дегазації і/або рафінування рідкого сплаву). Також, у різних необмежуючих модифікаціях, один або більше плазмових електронних емітерів, що випромінюють іони, може використовуватися разом з однією або більше гармат для утворення електронних пучків і отримання значною мірою двовимірних, лінійних електронних пучків.

[00180] Фіг. 24 і 25 подають додаткові деталі необмежуючої модифікації плазмового електронного емітера, що випромінює іони, який може бути скомпонований для використання як джерело електронів з достатньою енергією у модифікації електронно-променевого плавильного пристрою згідно з даним описом. Фіг. 24 є видом у перспективі, частково у розрізі, модифікації плазмового електронного емітера, що випромінює іони. Фіг. 2 є принциповою схемою, що ілюструє роботу емітера 2510 на Фіг. 24. Емітер 2510 включає електрично заземлену оболонку 2513, яка включає катодну область 2511, іонізаційну або плазмову область 2514, і вікно з фольги 25, яке пропускає електрони. Продовгуватий дротяний електрод 2516 проходить по всій довжині іонізаційної області 2514. Вікно з фольги 2515 електрично сполучається з камерою 2513 і формує анод, який розганяє електрони в камері 2513, що виходить з камери 2513 у напрямку, позначеному стрілками "А". Камера 2513 заповнена гелієм з низьким тиском, таким, як $1\text{--}10$ мТорр, і у неї подається газ за допомогою пристрою подачі 2517. Пристрій подачі газу 2517 з'єднаний з оболонкою 2513 трубопроводом 2519, який проходить через клапан 2521. Регулювання тиску у камері 2513 здійснюється за допомогою насоса 2523, що з'єднаний з камерою 2513 трубопроводом 2519.

[00181] Катодна область 2511 включає катод 2518, який у свою чергу містить вставку 2520, змонтовану на її нижній поверхні. Вставка 2520 може містити, наприклад, молибден, однак може містити будь-який матеріал з відповідним високим коефіцієнтом емісії вторинних електронів. Катод 2518 відповідним чином однаково відділений від стінок вставки 2513 для запобігання розриву Пашена. Катод 2518 спарений з джерелом струму високої напруги 2522 за допомогою кабелю 2525, який проходить через ізолятор 2526 і резистор 2528. Джерело струму 2522 подає високий негативний потенціал, наприклад, 200-300 кВ, на катод 2518. Катод 2518 і вставка 2520 може відповідним чином охолоджуватися, наприклад, циркулюючою трубопроводами охолоджувальною рідиною 2524.

[00182] Іонізаційна область 2514 включає велику кількість тонких металевих ребер 2530, які спарені електрично і механічно. Кожне ребро 2530 має центральну область запобіжника, що дозволяє дрововому електроду 2516 проходити через іонізаційні камери 2514. Бічні стінки ребер 2530 спрямовані до катода 2518 і створюють екстракційну решітку 2534. Протилежна сторона всіх або частини ребер 2530 створює підтримуючу решітку 2536 для вікна з фольги 2515, яке пропускає електрони. Канали охолодження 2540 можуть встановлюватися для створення циркуляції охолоджуючої рідини через і поряд з ребрами 2530 для відводу тепла від іонізаційної області 2514.

[00183] Вікно з фольги 2515, що пропускає електрони, яке може включати, наприклад, алюмінієву або титанову фольгу, підтримується решіткою 2534 і відокремлене від вставки 2513 за допомогою О-кільця або іншої структури, достатньої для підтримки високого ступеня вакууму гелію у вставці 2513. Пристрій електричного контролю 2548 зв'язаний з дротяним електродом 2516 сполучною ланкою 2549. Для активації пристрою контролю 2548 дротяний електрод 2516 заряджений до високого позитивного потенціалу, а гелій в іонізаційній області 2514 іонізується для утворення плазми, що включає катіони гелію. Як тільки плазма утворюється в іонізаційній області 2514, катод 2518 заряджається джерелом струму 2522. Катіони гелію в іонізаційній області 2514 електрично притягуються до катода 2518 електричним полем, яке поширюється від катода 2518 у плазмову область 2514. Катіони гелію рухаються уздовж ліній поля через екстракційну решітку 2534, а також у катодну область 2511.

[00184] У катодній області 2511, катіони гелію розганяються поперек повного потенціалу електричного поля, що генерується зарядженим катодом 2518, і активно бомбардують катод 2518 у вигляді колімованого пучка катіонів. Катіони, що співударяються, вивільняють вторинні електрони вставки 2520. Потік вторинних електронів, отриманий за допомогою вставки 2520, розганяється в напрямку, протилежному напрямку руху катіонів гелію, до дротяного електрода 2516, а також через вікно з фольги 2515.

[00185] Можуть передбачатися засоби для відстеження тиску газу в камері 2513, оскільки зміни тиску можуть впливати на густину плазми іонів гелію і, у свою чергу, на густину потоку вторинних електронів, що генеруються катодом 2518. Початковий тиск може бути встановлено у вставці 2513 відповідним чином регульованим клапаном 2521. Як тільки плазма, що містить катіони, утворюється в плазмовій області 2514, датчик напруги 2550 може бути встановлений для непрямого контролю миттєвого статичного тиску в камері 2513. Зростання напруги є індикатором зниження тиску в камері. Вихідний сигнал датчика напруги 2550 використовується для контролю клапана 2521 через контролер клапана 2552. Струм, що подається на дротяний електрод 2516 контролюючим пристроєм 2548 також регулюється датчиком сигналу напруги 2550. Використання сигналу, генерованого датчиком напруги 2550, для контролю клапана

подачі газу 2521 і для контролю пристрою 2548 дає стабільний вихід потоку електронів з емітера 2510.

[00186] Струм, що генерується емітером 2510, визначається густиною катіонів, які співударяються з катодом 2518. Густина катіонів, які співударяються з катодом 2518, може регулюватися зміною напруги на дотовому електроді 2516 через контролюючий пристрій 2548. Енергія електронів, що випускаються катодом 2518, може регулюватися зміною напруги на катоді 2518 через джерело струму 2522. Струм і енергія випромінюваних електронів може незалежно контролюватися, а залежності між даними параметрами і напругами, що використовуються, є лінійними, що робить контроль емітера 2510 ефективним і результативним.

[00187] Фіг. 26 схематично ілюструє плавильний пристрій з електронним пучком 2610, що містить два плазмових електронних емітери, що випромінюють іони, 2614 і 2616, сконструйованих так, як проілюстровано на Фіг. 24 та 25. Плавильний пристрій 2610 містить камеру плавки 2620, механізм подачі матеріалу 2622 і функціонально зв'язаний з розпилювальним пристроєм 2624. Струм, необхідний для роботи емітерів 2614 і 2616, подається на емітери лінією електропередачі 2626, а також зв'язкою між емітерами 2614 і 2616 і камерою плавки 2620, що включає вікна з фольги 2634 і 2636, що пропускають електрони, які створюють потоки електронів 2638, отримані за допомогою емітерів 2614 і 2616, що входять в камеру плавки 2620. Пристрої електромагнітного контролю 2639 для магнітного керування потоками електронів 2638, можуть бути включені в камеру плавки 2620 для забезпечення додаткового контролю процесу.

[00188] Черінь печі 2640, яким може бути, наприклад, охолоджуваній черінь печі, встановлено у камері плавки 2620. Під час роботи плазмові електронні емітери, що випромінюють іони, 2614 і 2616 заряджаються і створюють потоки електронів 2618. Сплав пропонованого матеріалу 2644 вводиться в камеру плавки 2620 за допомогою механізму подачі 2622, плавиться потоком електронів 2638, що випромінюються емітером 2614, і стікає в черінь печі 2640. Широкопотоковий потік електронів 2638, що випускаються емітером 2616, нагріває, дегазує, і рафінує матеріал рідкого сплаву 2642, поки останній перебуває у черені печі 2640. Розплавлений матеріал 2642 рухається уздовж череня печі 2640 і стікає в розпилювальний пристрій 2624, утворюючи дрібні тверді частинки у твердій заготовці. Розпилювальний пристрій 2624 може включати один або більше термоіонних емітерів з електронними пучками і/або один або більше плазмових електронних емітерів, що випромінюють іони.

[00189] Цей опис винаходу складено відповідно до різних необмежуваних і невичерпних варіантів реалізації. Однак буде зрозуміло навіть фахівцям середнього рівня в даній області техніки, що різні заміни, модифікації, або поєднання будь-яких з розкритих модифікацій, можуть бути виконані в межах обсягу, зазначеного в описі винаходу. Таким чином, розглядається і мається на увазі, що даний опис винаходу підтримує додаткові модифікації, не встановлені явно в цьому винаході. Такі модифікації можуть бути отримані, наприклад, поєднанням, зміною, або перетворенням будь-якої з розкритих стадій, компонентів, елементів, властивостей, аспектів, характеристик, обмежень, і подібних їм, різних необмежуваних модифікацій, описаних у цьому описі винаходу. Таким же чином, Заявник залишає за собою право вносити доповнення у формулу винаходу під час судового процесу, у відповідності з тими варіантами, які викладені в цьому описі винаходу, і такі поправки відповідають вимогам 35 USC § 112, перший абзац, і 35 USC § 132 (а).

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб одержання твердої заготовки сплаву, який включає:

одержання щонайменше одного з потоку рідкого сплаву і ряду крапель рідкого сплаву;

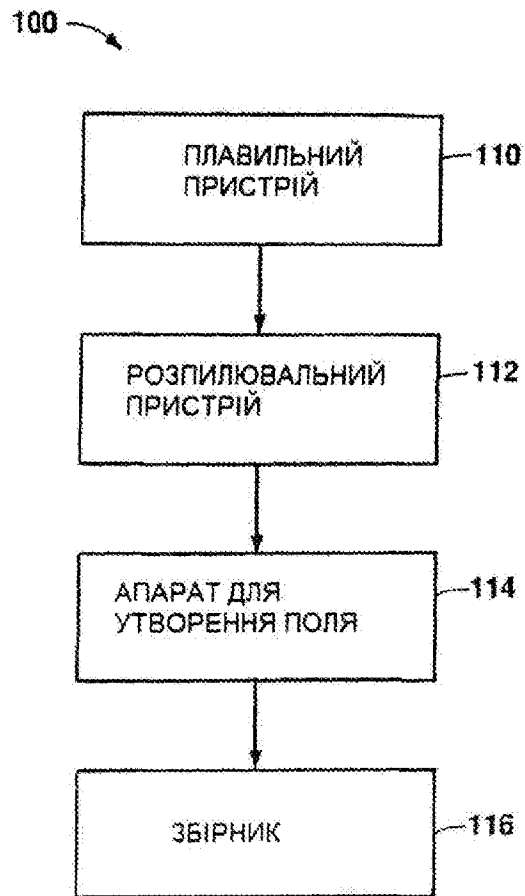
одержання електрично заряджених частинок рідкого сплаву бомбардуванням електронами щонайменше одного з потоку рідкого сплаву і ряду крапель рідкого сплаву для розпилення рідкого сплаву;

прискорення електрично заряджених частинок рідкого сплаву щонайменше одним з електростатичного поля і електромагнітного поля;

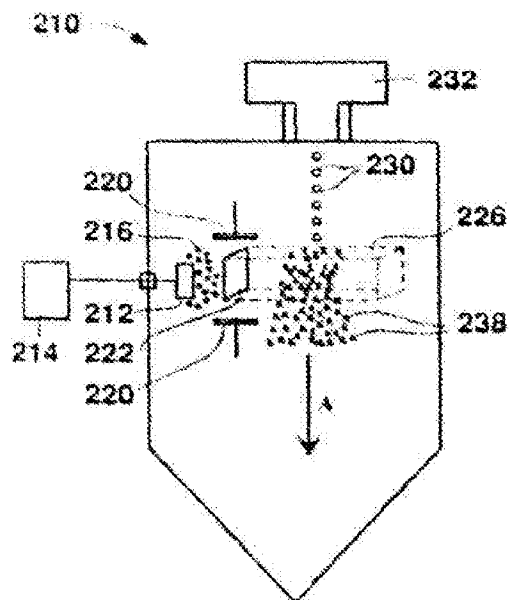
охолодження частинок рідкого сплаву до температури, яка не вище за температуру солідуса сплаву, так що частинки рідкого сплаву тверднуть під час прискорення і утворюють тверді частинки сплаву;

співударення твердих частинок сплаву з підкладкою, при цьому частинки, які співударяються, деформуються і металургійно зв'язуються з підкладкою з утворенням твердої заготовки сплаву.

2. Спосіб за п. 1, в якому частинки рідкого сплаву охолоджують до температури, яка не вище за температуру солідуса сплаву і вище ніж 0,50 температури солідуса сплаву.
3. Спосіб за п. 1, в якому частинки рідкого сплаву охолоджують до температури, яка не вище ніж 0,95 температури солідуса сплаву і вище ніж 0,50 температури солідуса сплаву.
- 5 4. Спосіб за п. 1, в якому охолодження частинки рідкого сплаву включає контактування частинки рідкого сплаву з нерівноважною плазмою.
5. Спосіб за п. 1, в якому охолодження частинки рідкого сплаву включає спрямування частинки сплаву крізь охолоджувальний змійовик.
- 10 6. Спосіб за п. 1, в якому одержання щонайменше одного з потоку рідкого сплаву і ряду крапель рідкого сплаву включає плавлення матеріалу сплаву з використанням щонайменше одного з методів вакуумно-індукційного плавлення, вакуумно-дугового переплавлення, вакуумного двоелектродного переплавлення, електрошлакового рафінування/переплавлення, електронно-променевого плавлення і електронно-променевого холодноподового плавлення.
- 15 7. Спосіб за п. 1, в якому підкладка підтримують при позитивному потенціалі для притягування електрично заряджених частинки сплаву, одержаних бомбардуванням електронами рідкого сплаву.
8. Спосіб за п. 1, в якому бомбардувальні електрони складають тривимірне поле електронів.
9. Спосіб за п. 8, в якому тривимірне поле електронів включає циліндричний просторовий розподіл, через який спрямовують шлях течії рідкого сплаву.
- 20 10. Спосіб за п. 9, в якому подовжня вісь циліндричного просторового розподілу електронів зорієнтована у напрямку шляху течії рідкого сплаву.
11. Спосіб за п. 8, в якому тривимірне поле електронів включає прямокутний просторовий розподіл, через який спрямовують шлях течії рідкого сплаву.
- 25 12. Спосіб за п. 11, в якому сканують електронним пучком з прямокутним поперечним перерізом для забезпечення прямокутного просторового розподілу електронів.
13. Спосіб за п. 8, в якому електрони спрямовують з утворенням дифузної плями, і цією дифузною плямою сканують для забезпечення тривимірного просторового розподілу електронів, що має контрольовану форму.
- 30 14. Спосіб за п. 1, в якому бомбардувальні електрони одержують щонайменше одним з термоіонного емітера електронного пучка і дроторозрядного іонно-плазмового емітера електронів.
15. Спосіб за п. 1, в якому бомбардувальні електрони спрямовують щонайменше одним з електростатичного поля і електромагнітного поля для одержання тривимірного поля електронів на шляху течії рідкого сплаву.
- 35 16. Спосіб за п. 1, в якому підкладка містить сплав, який є тим же сплавом, що і утворюючий частинки сплав.
17. Спосіб за п. 1, в якому сплав є суперсплавом на основі нікелю.
18. Спосіб за п. 1, в якому в рідкому сплаві наводять негативний заряд перед бомбардуванням електронами рідкого сплаву.
- 40 19. Спосіб одержання твердої заготовки сплаву, який включає: одержання щонайменше одного з потоку рідкого сплаву і ряду крапель рідкого сплаву; одержання тривимірного поля електронів; бомбардування електронами з тривимірного поля електронів щонайменше одного з потоку рідкого сплаву і ряду крапель рідкого сплаву для розпилення рідкого сплаву і одержання
- 45 електрично заряджених частинки рідкого сплаву; прискорення електрично заряджених частинки рідкого сплаву електростатичним полем; охолодження частинки рідкого сплаву до температури, яка не вище за температуру солідуса частинки рідкого сплаву, так що частинки рідкого сплаву тверднуть під час прискорення; співударення твердих частинки сплаву з підкладкою, при цьому частинки, які співударяються,
- 50 деформуються і металургійно зв'язуються з підкладкою, утворюючи тверду заготовку сплаву.
20. Спосіб одержання твердої заготовки сплаву, який включає: розпилення частинки рідкого сплаву; транспортування частинки рідкого сплаву; охолодження частинки рідкого сплаву до температури, яка не вище за температуру солідуса сплаву, так що частинки рідкого сплаву тверднуть під час транспортування, утворюючи
- 55 частинки сплаву; і співударення твердих частинки сплаву зі збірником, при цьому тверді частинки сплаву, які співударяються, деформуються і металургійно зв'язуються разом з одержанням твердої заготовки сплаву.



Фіг. 1



Фіг. 2

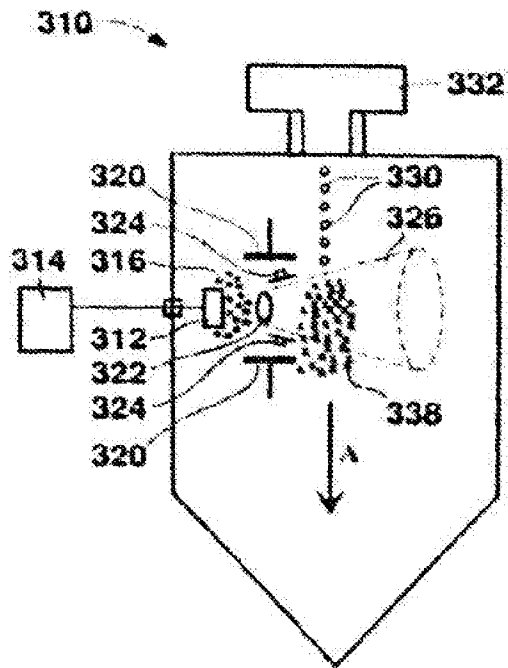


Fig. 3

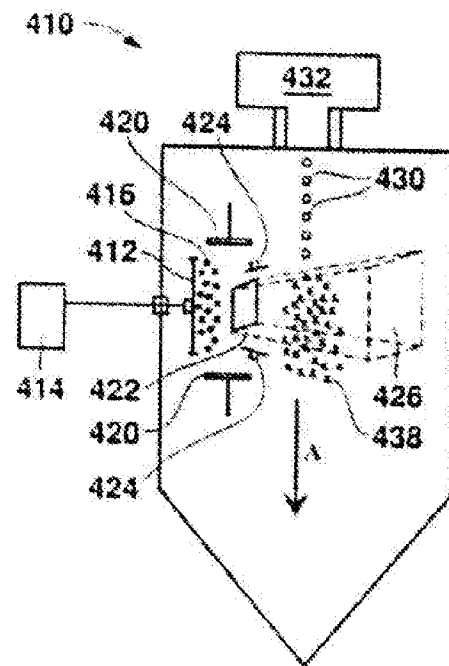


Fig. 4

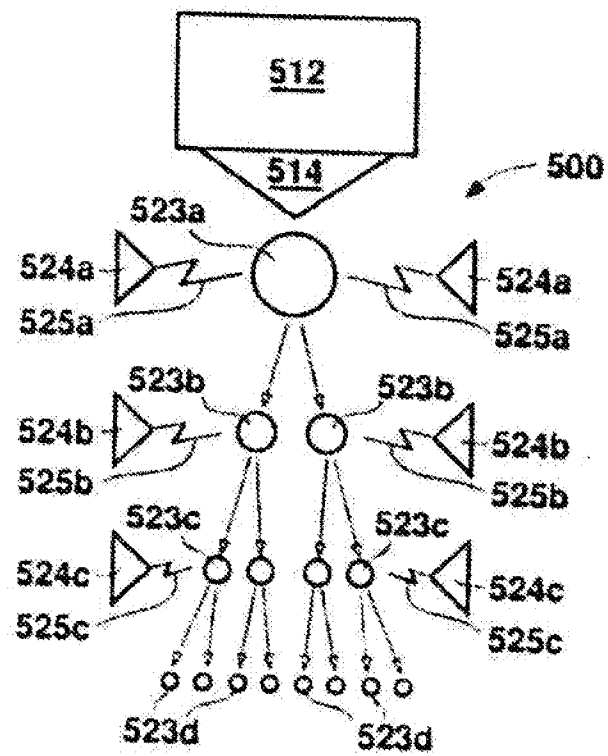


Fig. 5

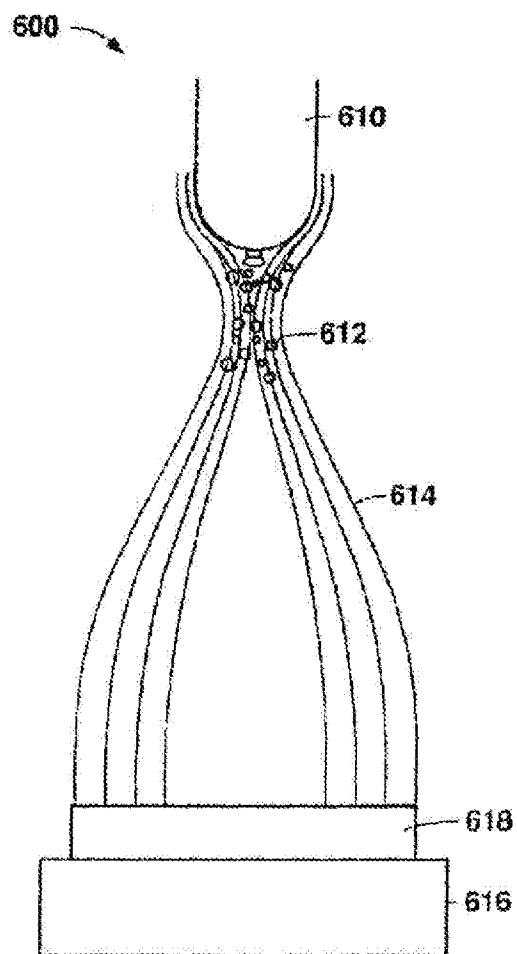


Fig. 6

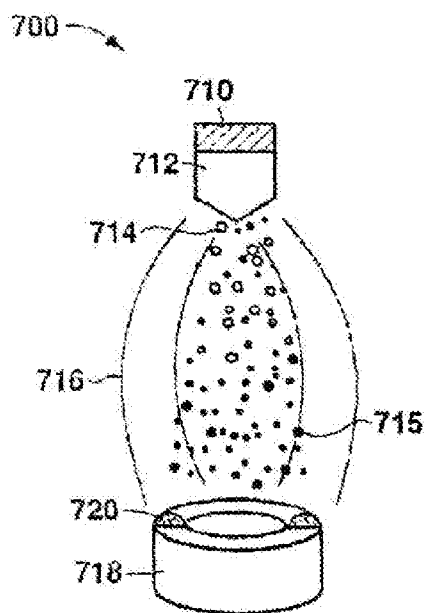


Fig. 7

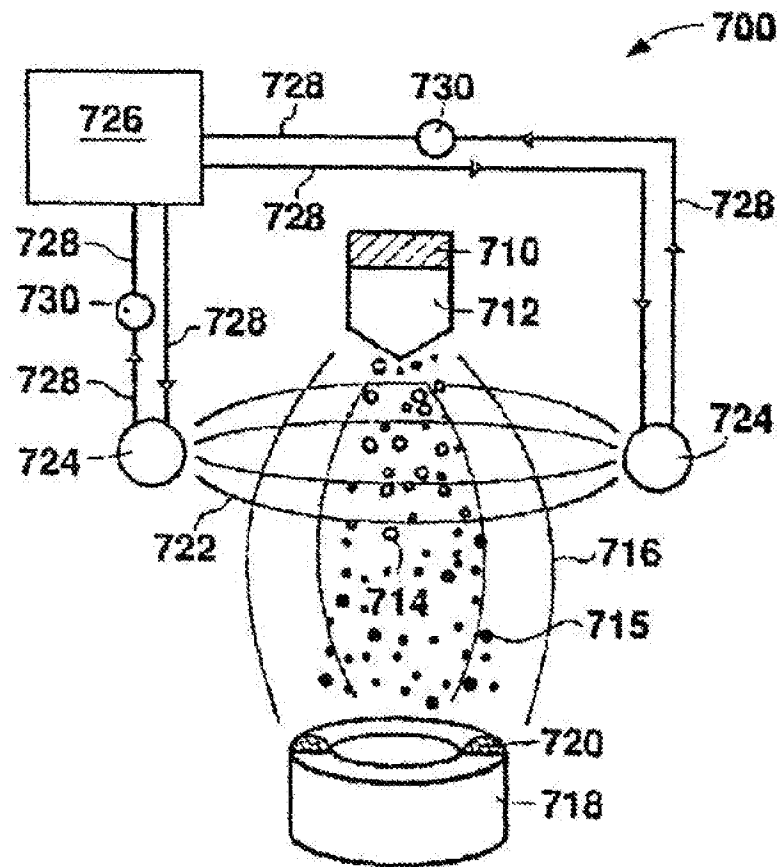


Fig. 7A

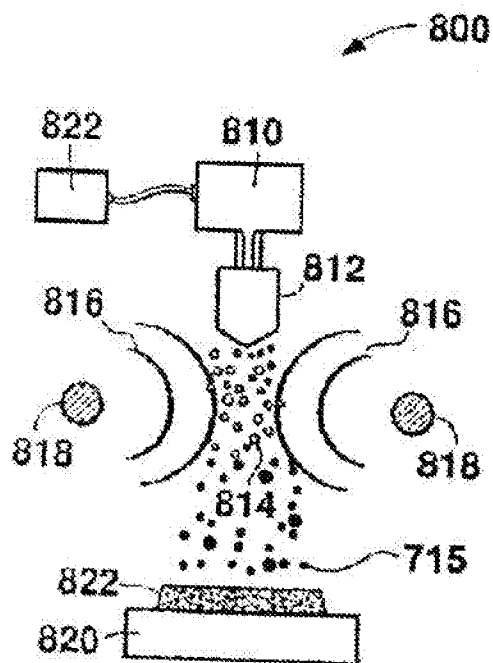


Fig. 8

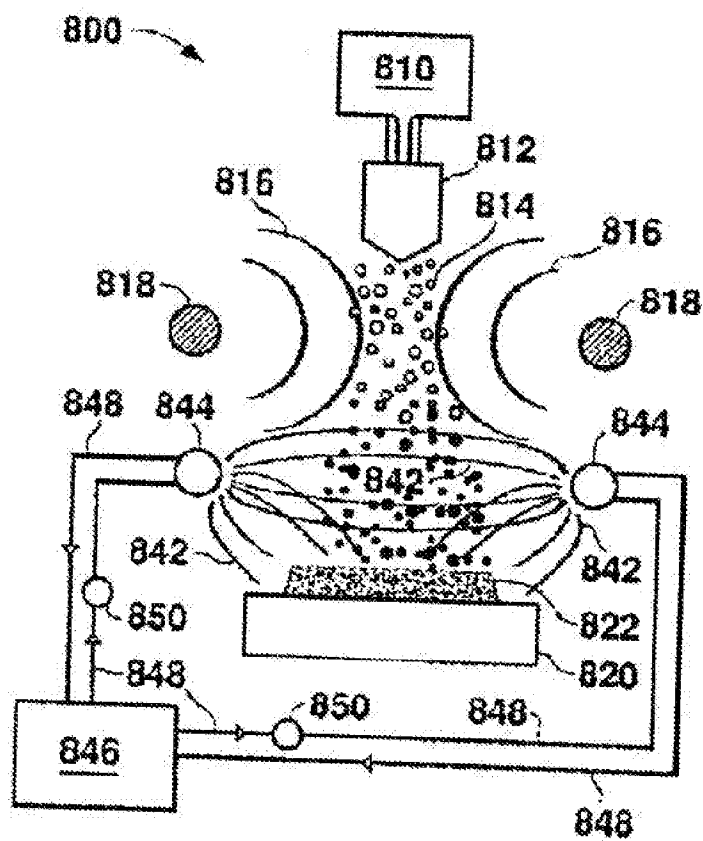


Fig. 8A

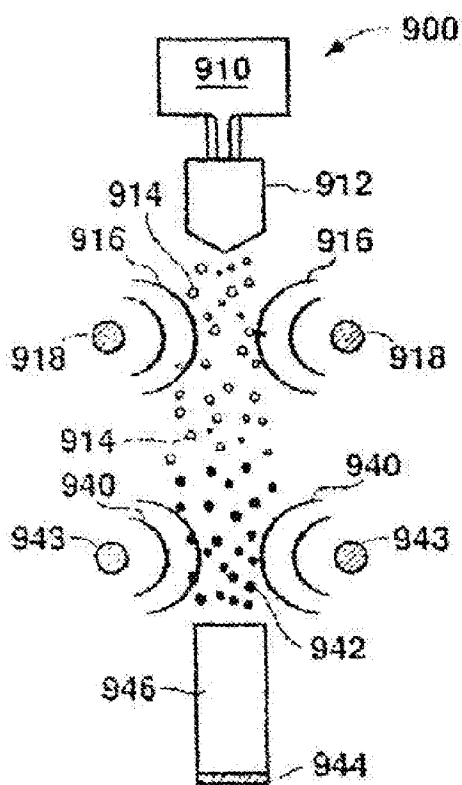


Fig. 9

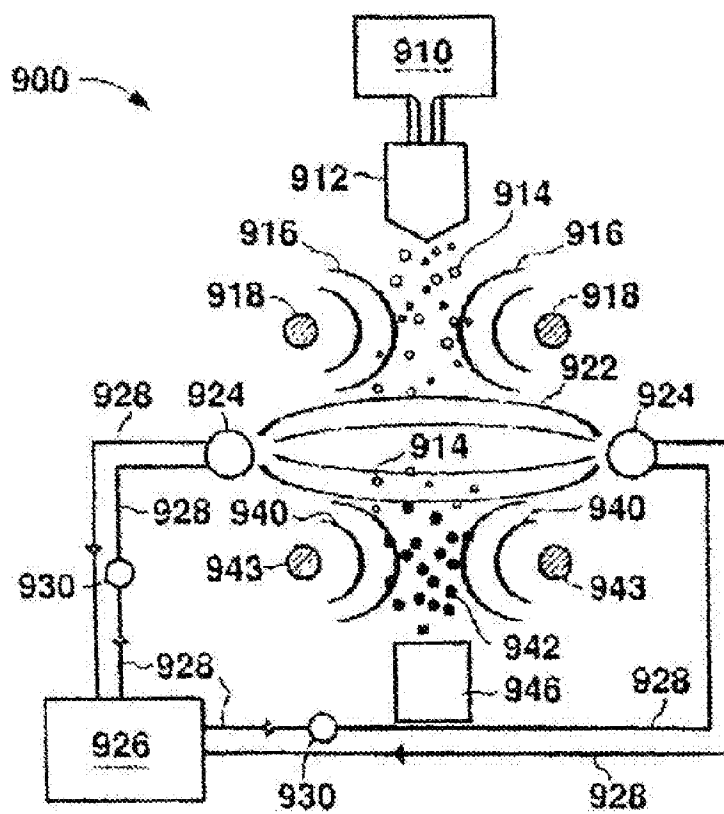


Fig. 9A

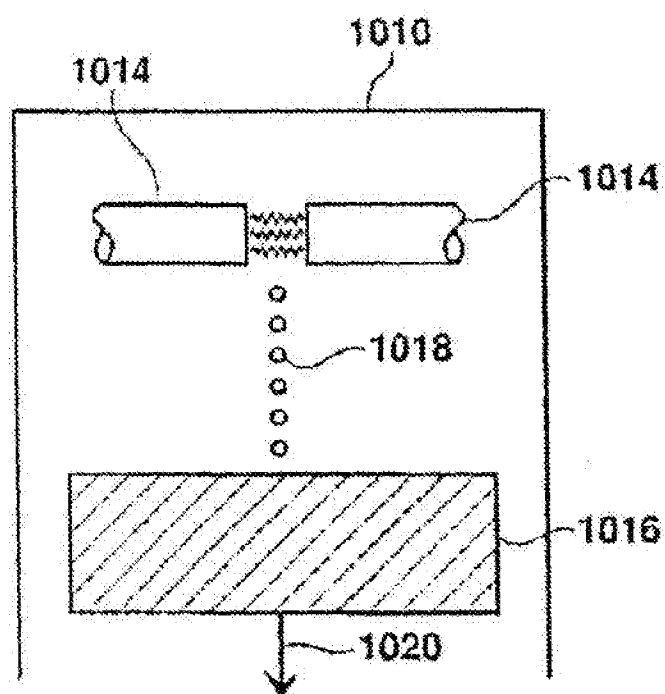


Fig. 10

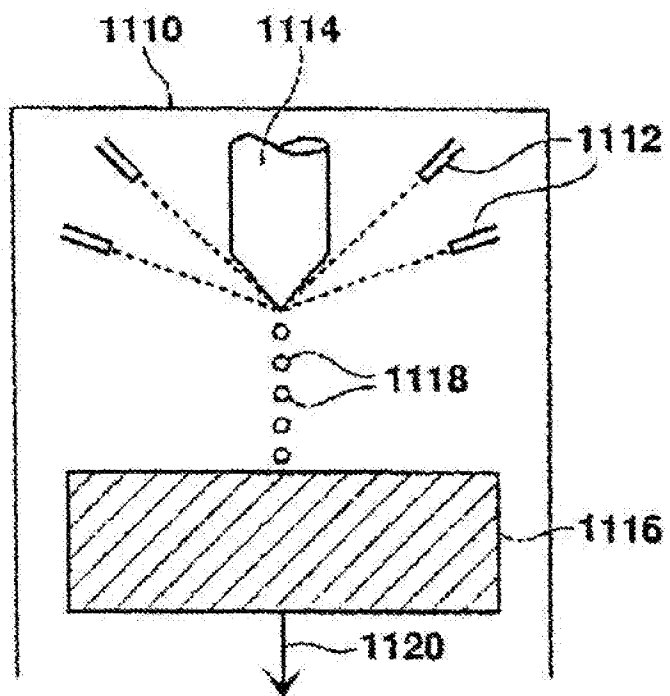


Fig. 11

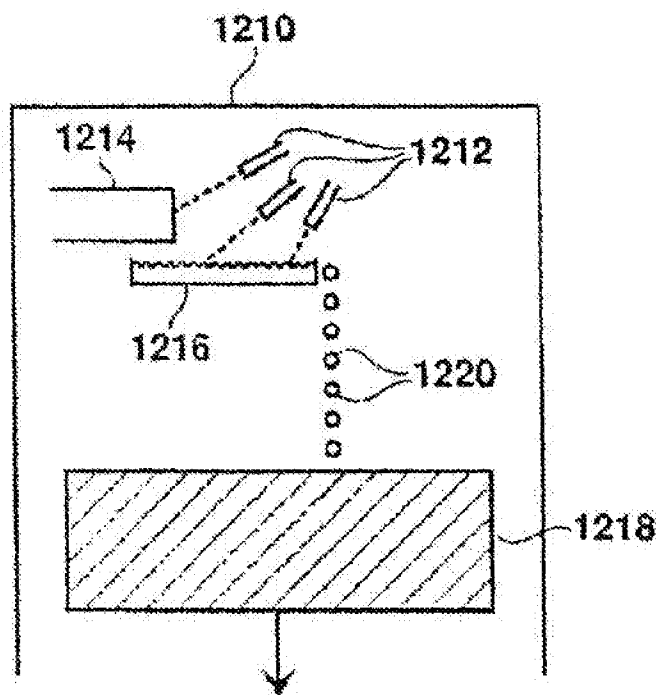


Fig. 12

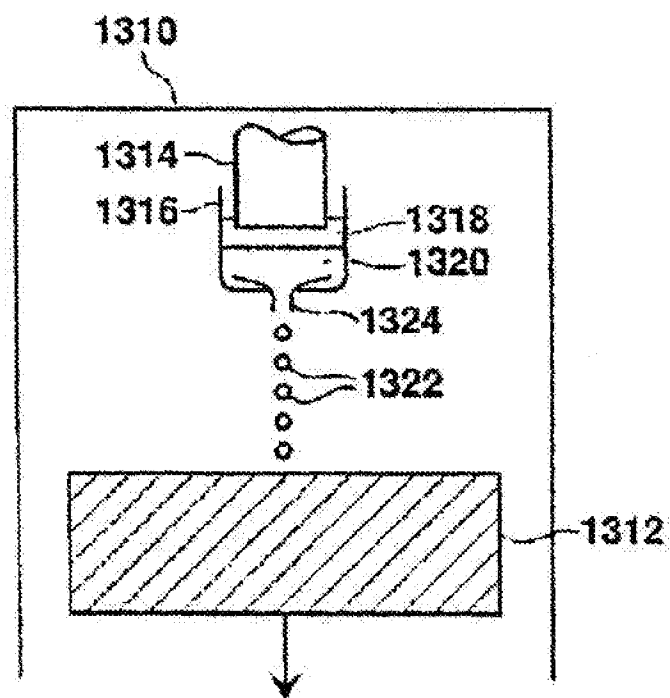


Fig. 13

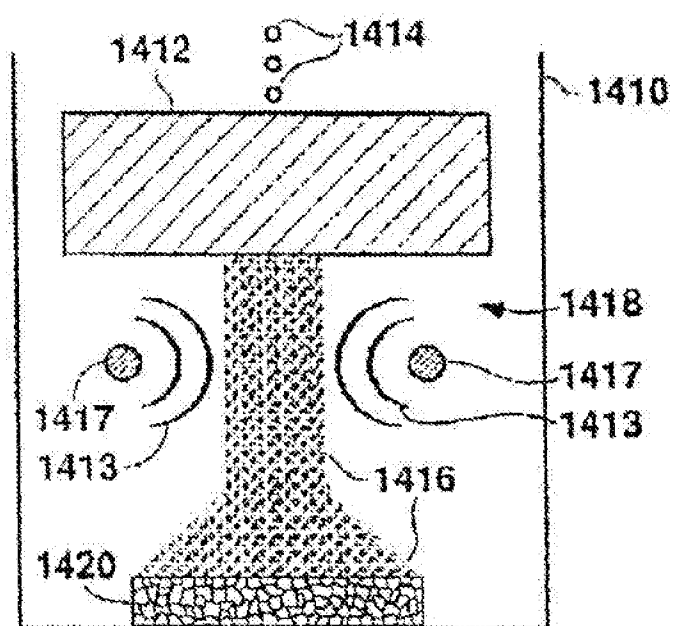


Fig. 14

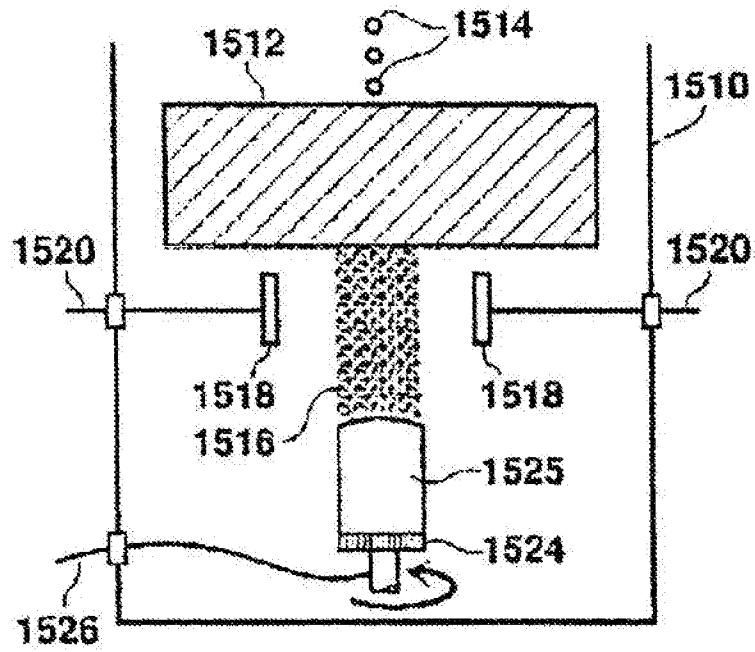


Fig. 15

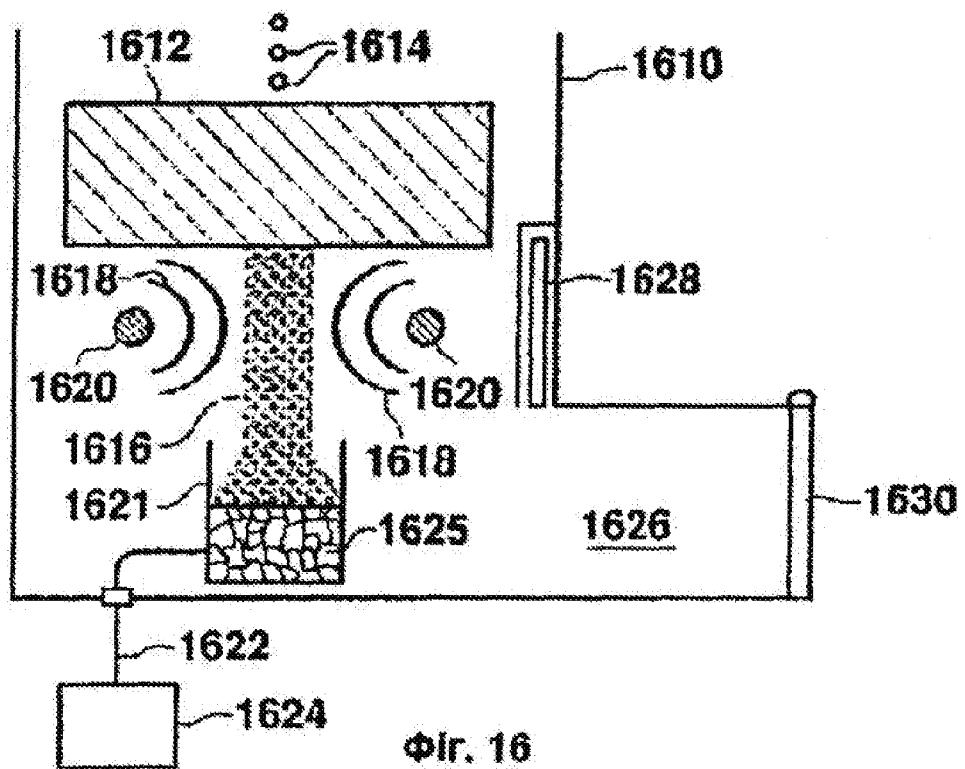


Fig. 16

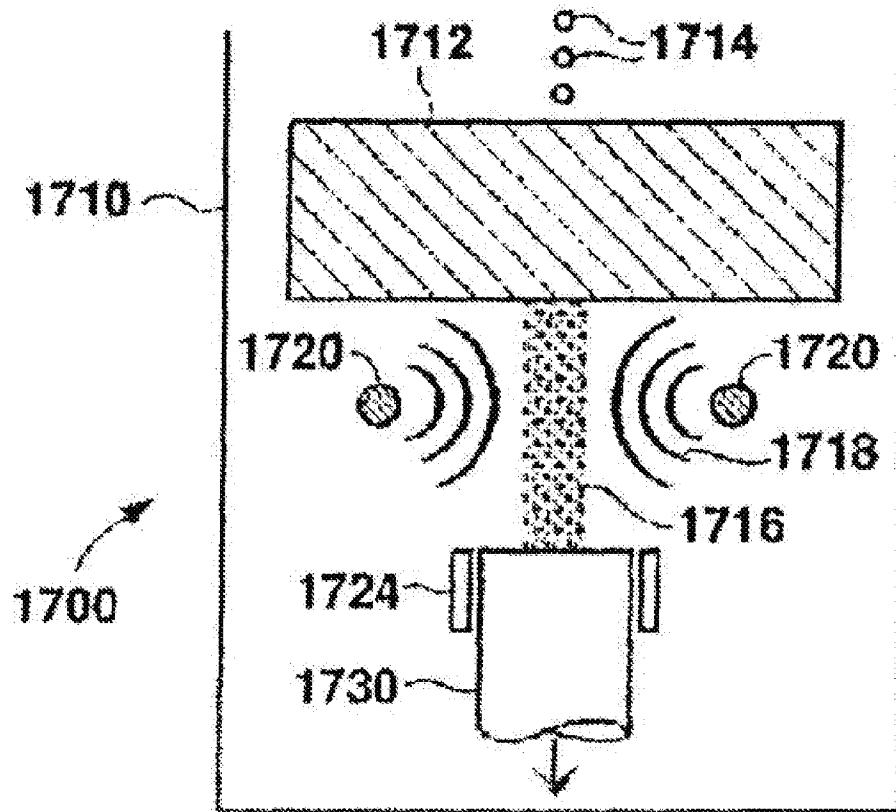


Fig. 17

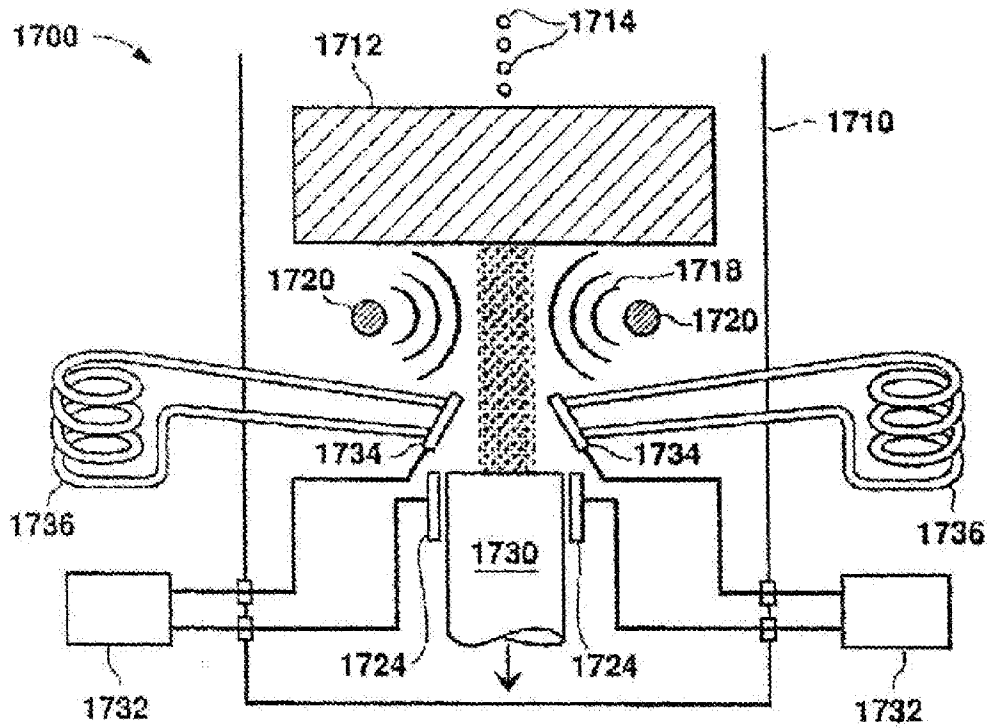
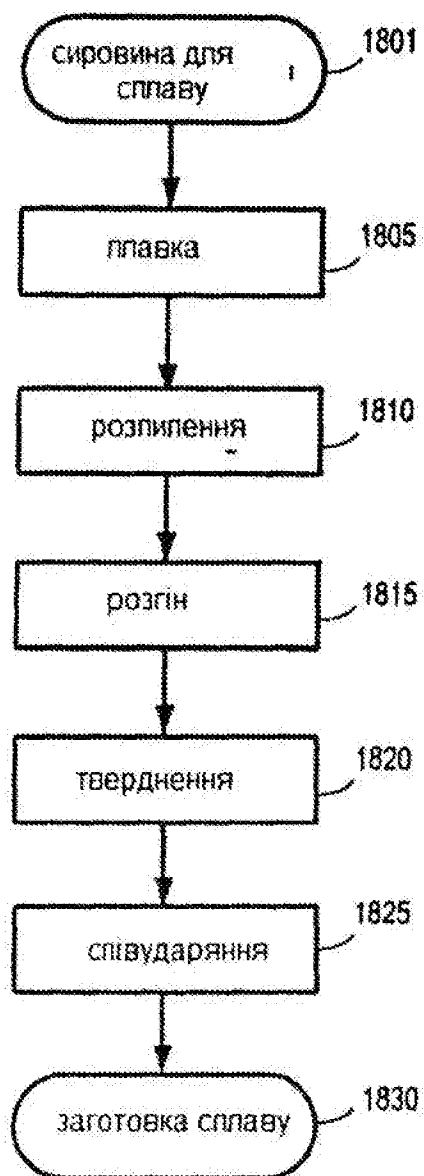


Fig. 17A



Фіг. 18

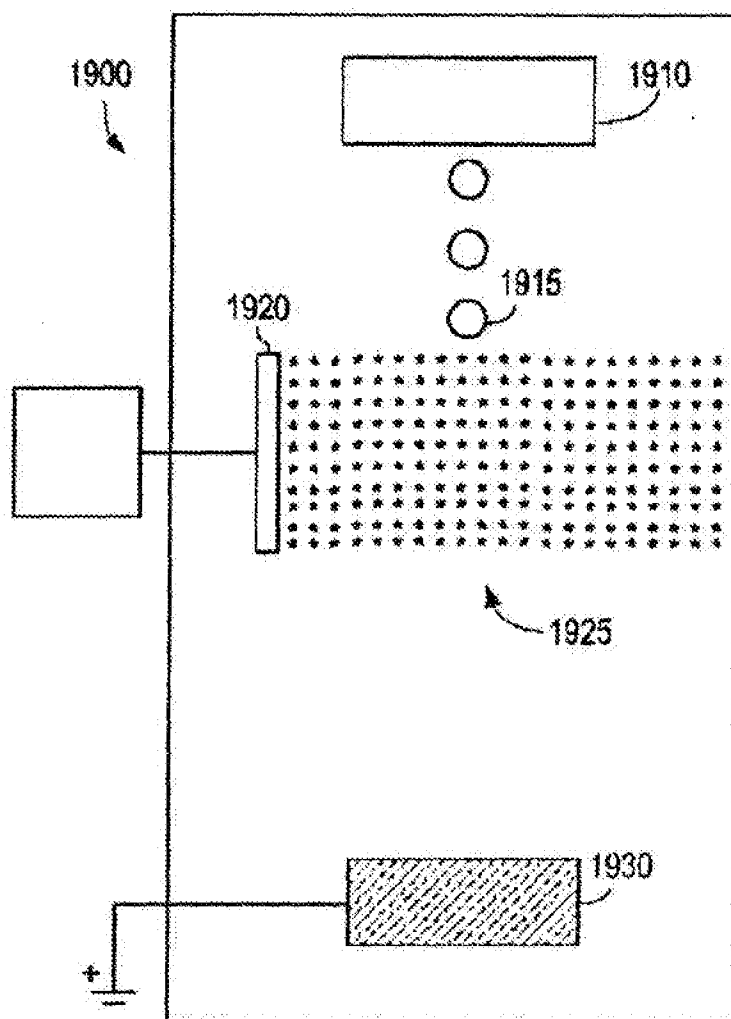


Fig. 19A

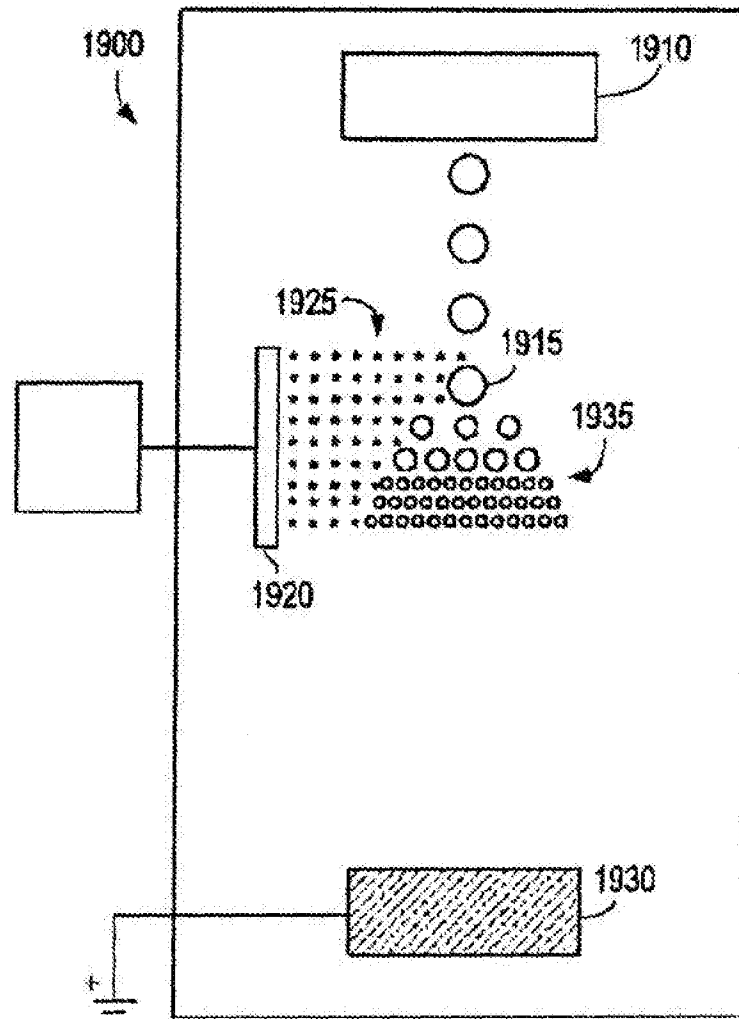


Fig. 19B

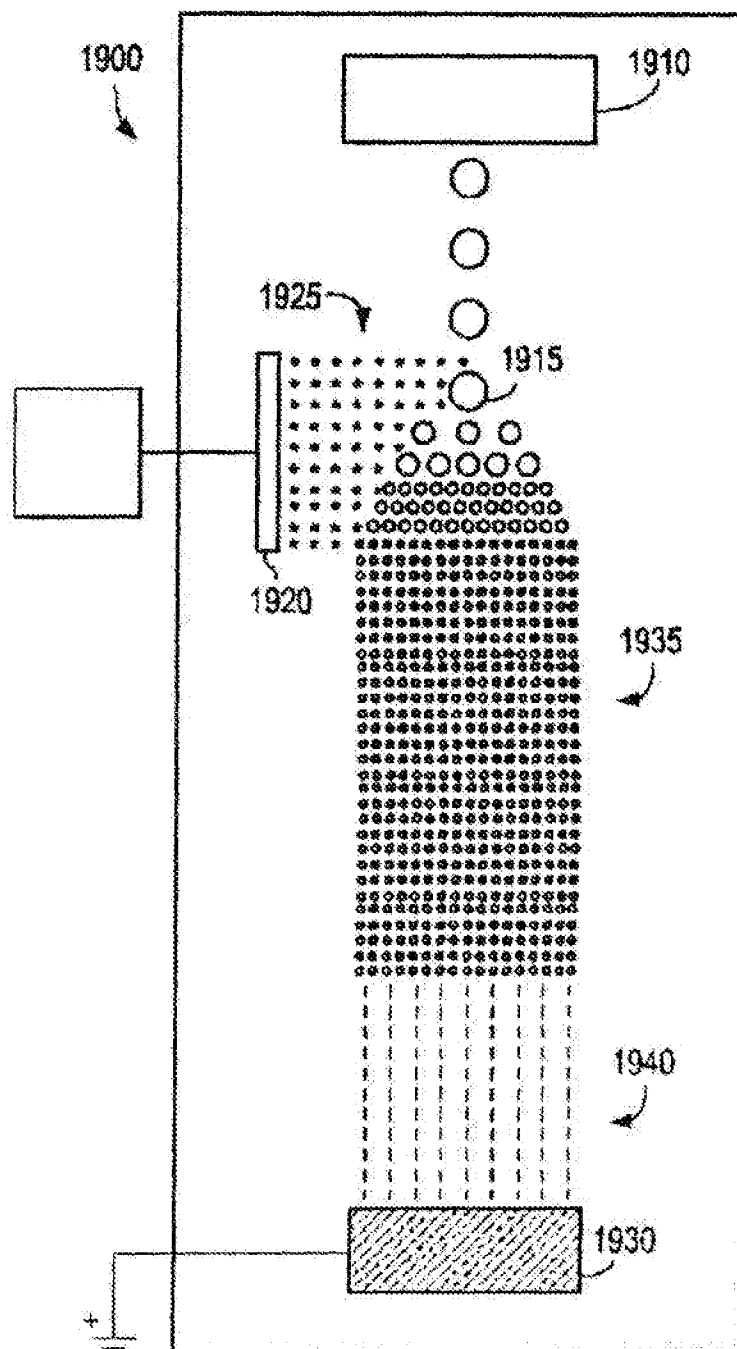


Fig. 19C

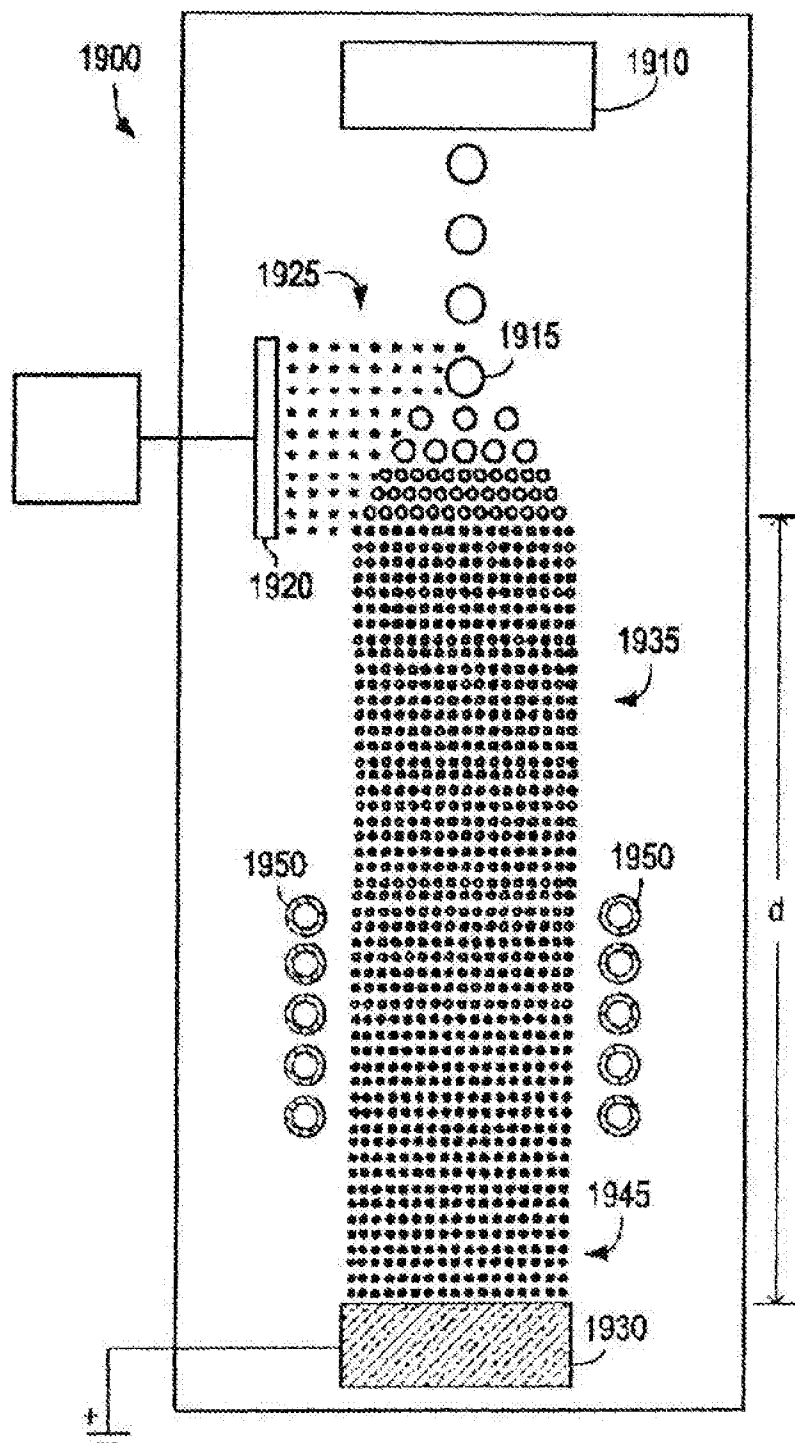
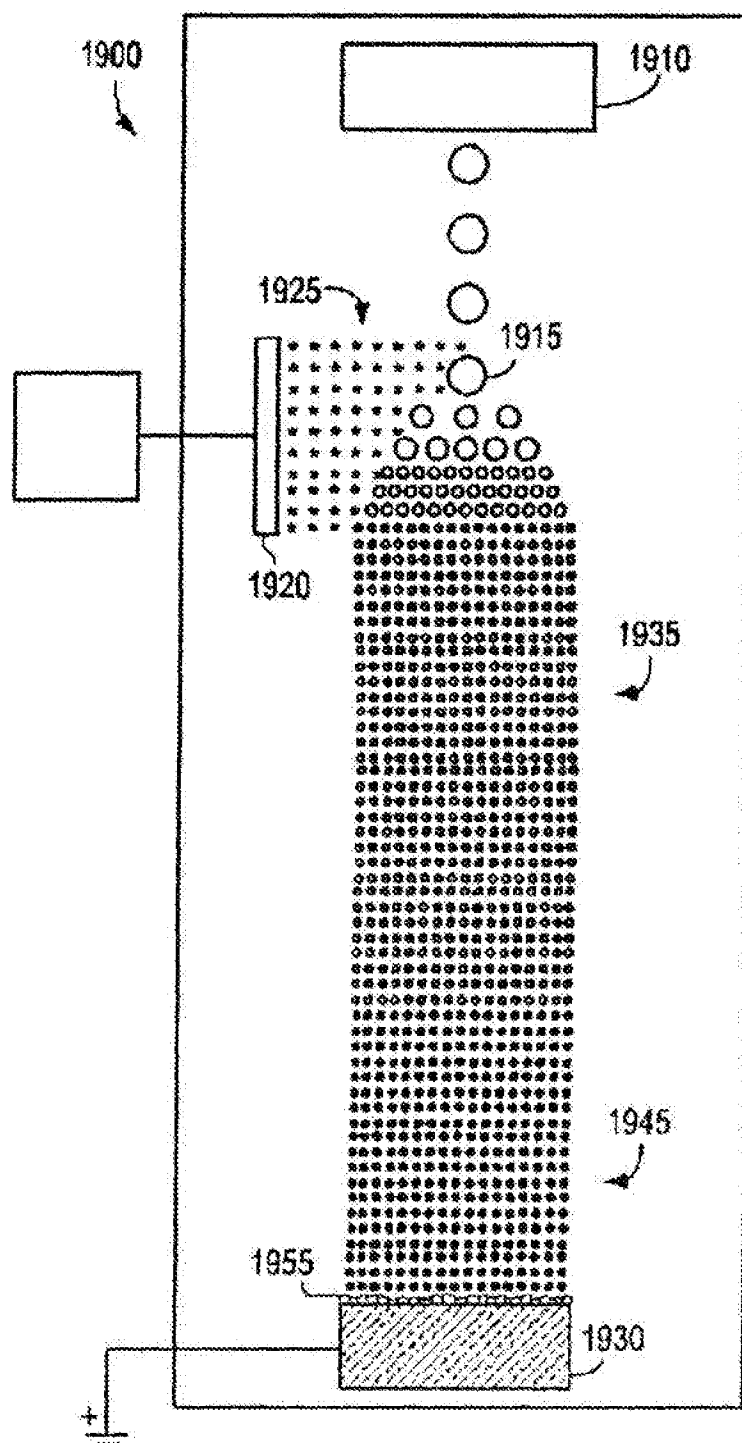


Fig. 19D



Фиг. 19Е

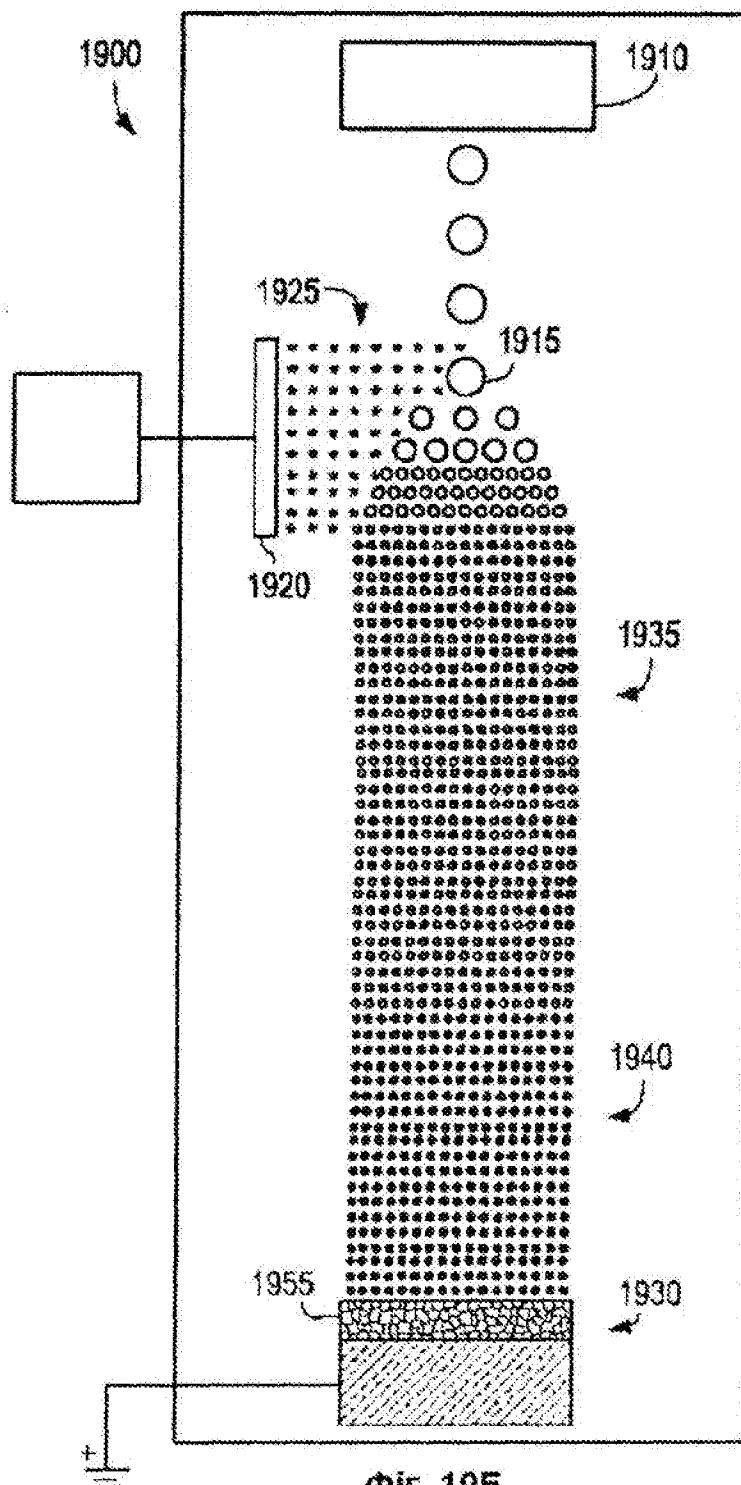


Fig. 19F

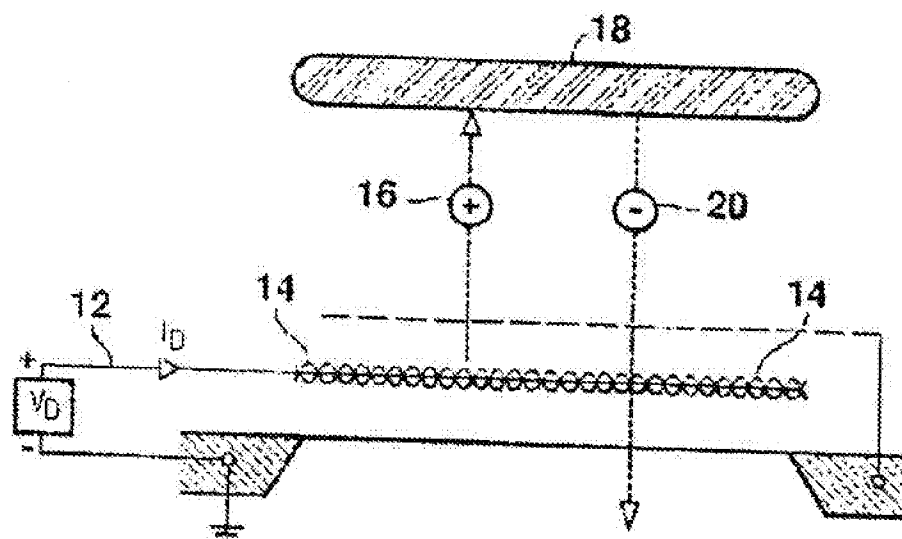


Fig. 20

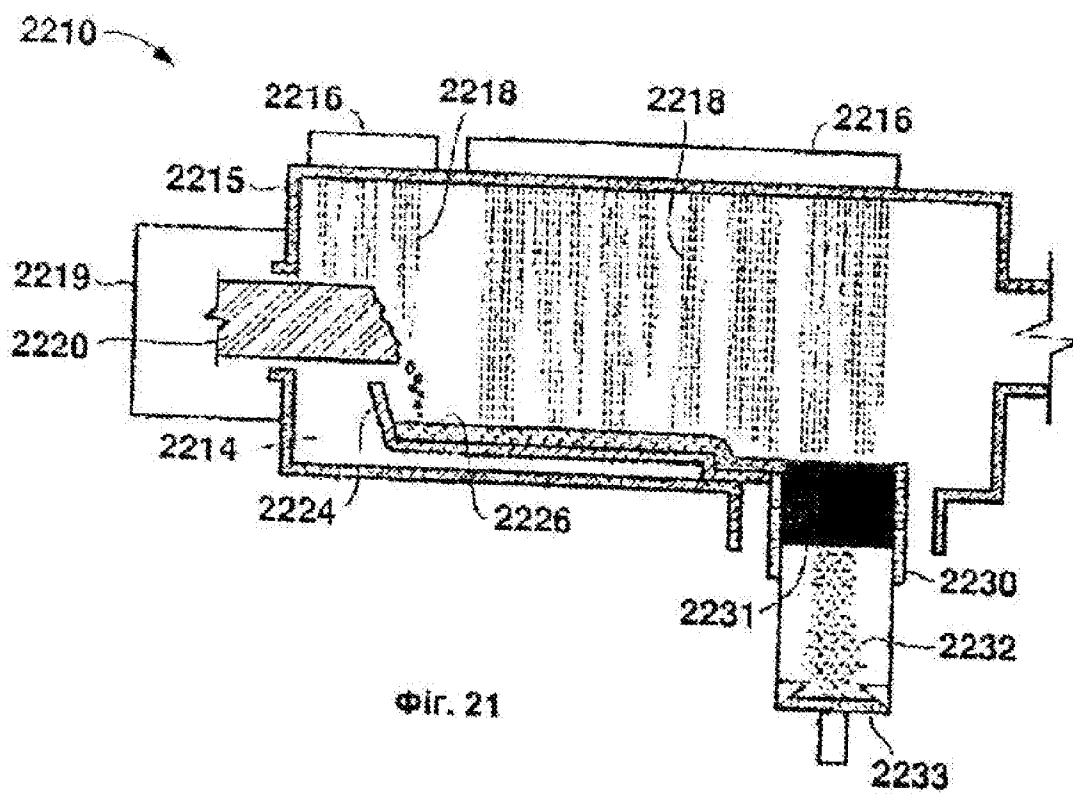


Fig. 21

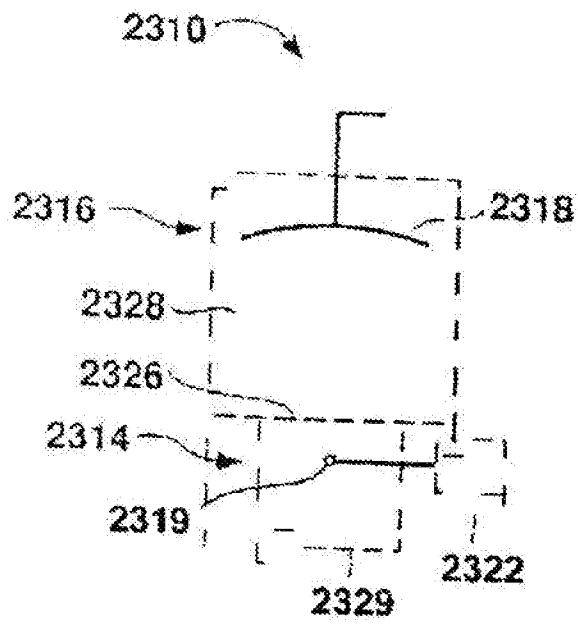


Fig. 22

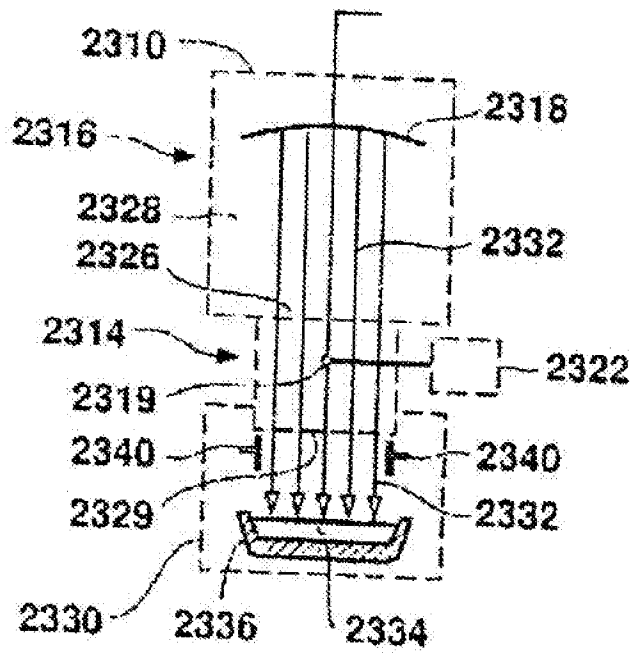
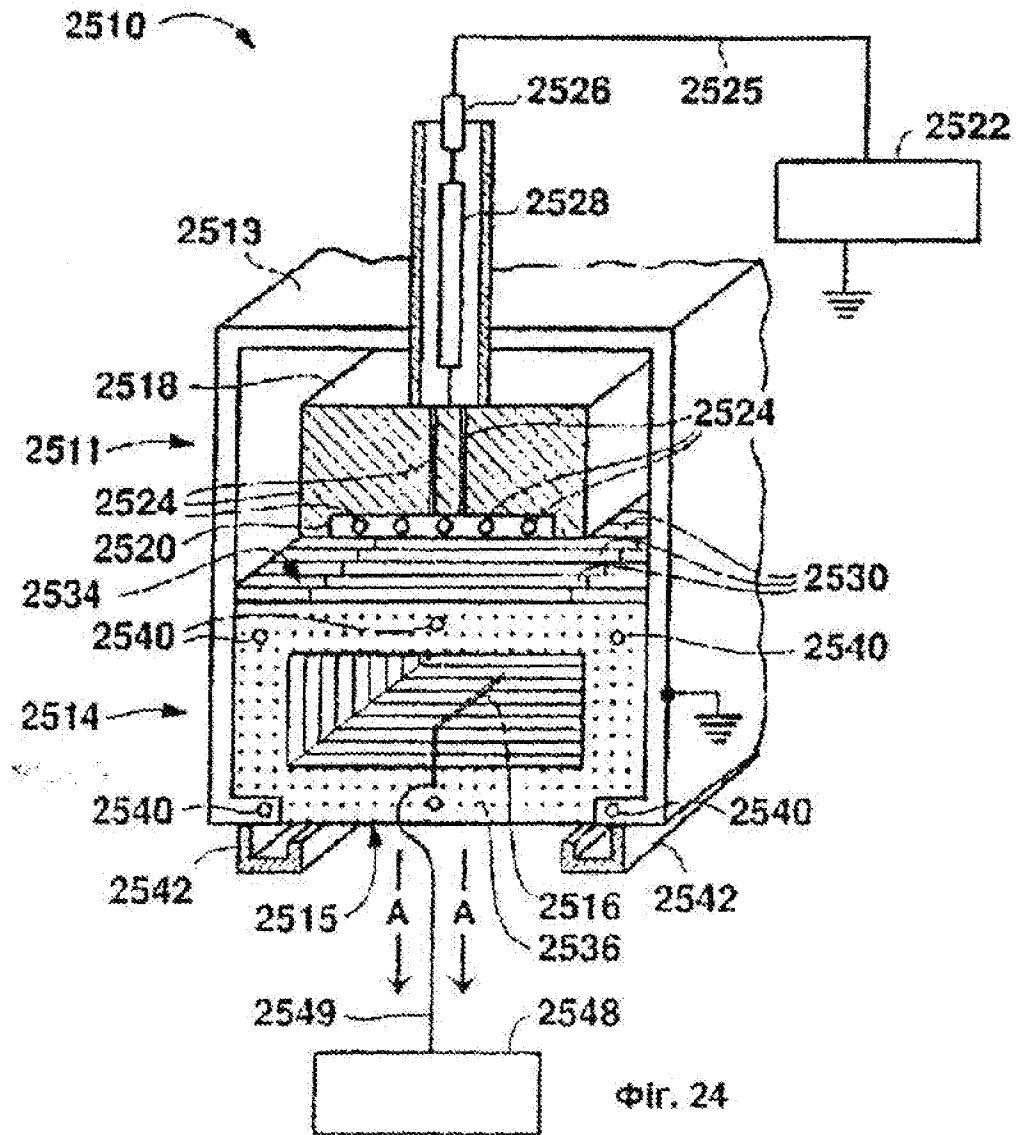
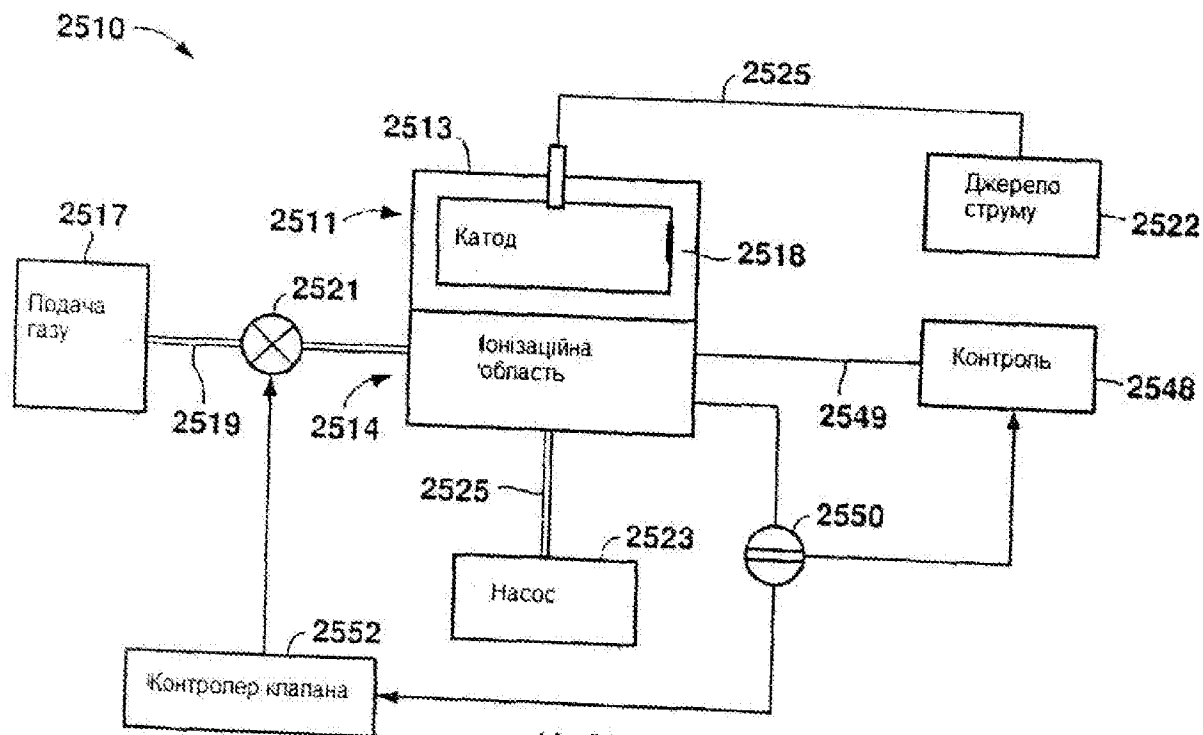
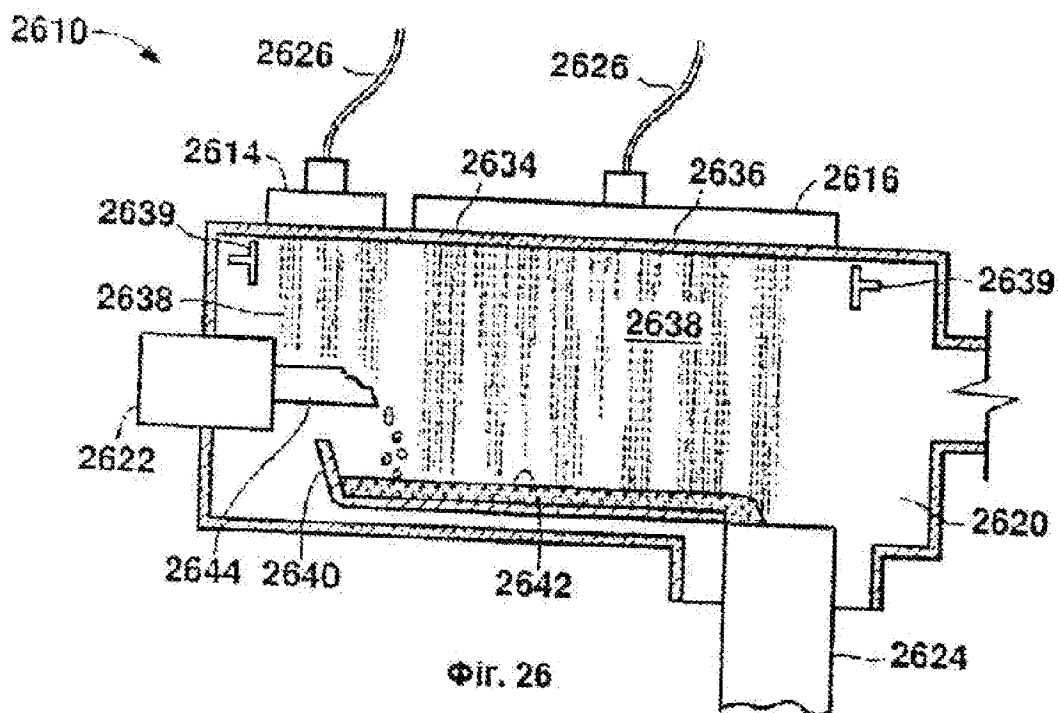


Fig. 23





Фіг. 25



Фіг. 26

Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601